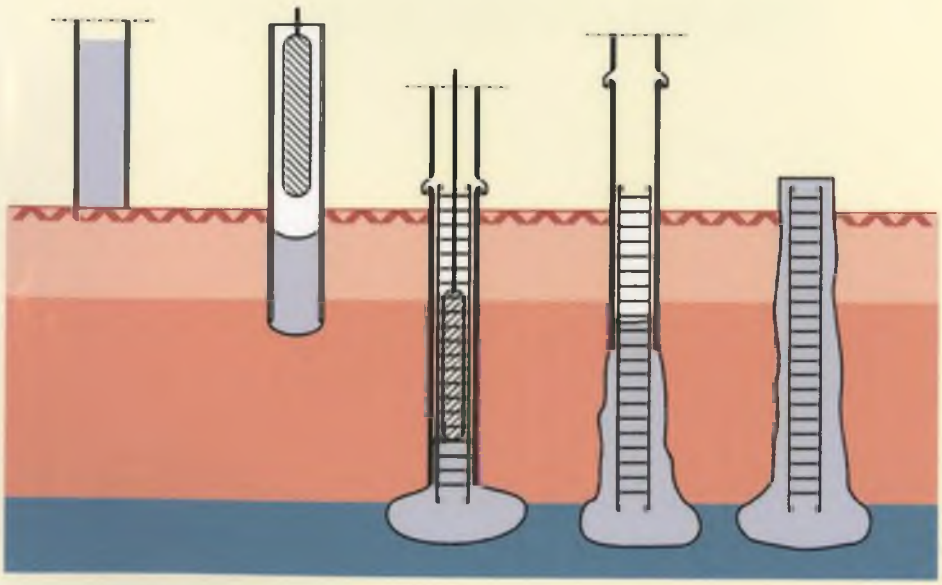
Ioan TUNS

CALCULUL ŞI ALCĂTUIREA FUNDAŢIILOR PE PILOŢI



MATRIX ROM
BUCUREŞTI

© MATRIX ROM
C.P. 16 - 162
062510 - BUCUREȘTI
tel. 021.4113617, fax 021.4114280
e-mail: office@matrixrom.ro
www.matrixrom.ro
www.carteuniversitara.ro

Editura MATRIX ROM este acreditată de
CONSILIUL NAȚIONAL AL CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE DIN ÎNVĂȚĂMÂNTUL SUPERIOR

Referenți științifici: *Prof. univ. dr. ing. Vasile GRECU*
Prof. univ. dr. ing.Nicolae FLOREA

Tehnoredactare: *Dr. ing. Ioan TUNS*
Ing. Eugen COTIGĂ

Coperta: *Dr. ing. Ioan TUNS*
Ing. Eugen COTIGĂ

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
TUNS, IOAN
Calculul și alcătuirea fundațiilor pe piloți/ Ioan Tuns. - București : Matrix Rom, 2007
Bibliogr.
ISBN 978-973-755-184-9

624.15

ISBN 978 – 973 – 755 – 184 - 9

C U P R I N S

		pag.
1.	FUNDAȚII PE PILOȚI	7
1.1.	DEFINIȚIE PILOȚI. DOMENII DE UTILIZARE.....	7
1.2.	CLASIFICAREA PILOȚILOR	8
1.3.	PRINCIPII DE ALCĂTUIRE CONSTRUCTIVĂ ȘI TEHNOLOGII DE REALIZARE A PILOȚILOR	12
1.3.1.	Alcătuirea constructivă a piloților prefabricați	12
1.3.1.1.	Piloți din lemn	12
1.3.1.2.	Piloți din beton armat și beton precomprimat..	16
1.3.1.3.	Piloți metalici	22
1.3.2.	Procedee de introducere în teren a piloților prefabricați	23
1.3.2.1.	Procedeul de introducere în teren a piloților prefabricați prin batere	23
1.3.2.2.	Procedeul de introducere în teren a piloților prefabricați prin vibrare	27
1.3.2.3.	Procedeul de introducere în teren a piloților prefabricați prin înșurubare	28
1.3.2.4.	Procedeul de introducere în teren a piloților prefabricați prin presare	29
1.3.2.5.	Pătrunderea în teren a piloților prefabricați prin efectul subspălării	29
1.3.2.6.	Pătrunderea în teren a piloților prefabricați prin efectul electroosmozei	31
1.3.2.7.	Fenomene ce au loc la introducerea în teren a piloților prefabricați	32
1.3.3.	Procedee de execuție pe loc a piloților	38
1.3.3.1.	Piloți executați pe loc prin batere	38
1.3.3.1.1.	Piloți executați pe loc prin batere fără protecția pereților găurii prin tubaje	38
1.3.3.1.2.	Piloți executați pe loc prin batere, cu tubaj pierdut	41
1.3.3.1.3.	Piloți executați pe loc prin batere cu tubaj recuperabil	46
1.3.3.2.	Piloți executați pe loc prin vibrare și vibropresare	53
1.3.3.3.	Piloți executați pe loc prin forare	58
1.3.3.3.1.	Piloți forați în uscat și netubați	60
1.3.3.3.2.	Piloți forați sub protecția noroiului bentonitic	62
1.3.3.3.3.	Piloți forați cu tubaj recuperabil	64
1.3.3.3.4.	Piloți forați cu tubaj nerecuperabil	69
1.4.	PROIECTAREA FUNDAȚIILOR PE PILOȚI	74
1.4.1.	Elemente necesare proiectării fundațiilor pe piloți	74
1.4.2.	Etapele proiectării fundațiilor pe piloți	89
1.4.2.1.	Stabilirea categoriei pilotului și a dimensiunilor sale preliminare	89

1.4.2.2. Capacitatea portantă a piloților izolați și a grupelor de piloți 9
1.4.2.2.1. Capacitatea portantă a piloților izolați 9
1.4.2.2.1.1. Determinarea capacității portante a unui pilot solicitat la compresiune 9
1.4.2.2.1.2. Determinarea capacității portante a unui pilot solicitat la smulgere 11
1.4.2.2.1.3. Determinarea capacității portante a unui pilot vertical solicitat la forțe orizontale 11
1.4.2.2.1.3.1. Calculul piloților încărcați lateral 12
1.4.2.2.1.3.2. Criterii de proiectare a piloților încărcați cu forțe transversale 13
1.4.2.2.2. Capacitatea portantă a grupei de piloți 14
1.4.2.2.2.1. Comportarea grupei de piloți la forțe verticale 14
1.4.2.2.2.1.1. Comportarea în grup a piloților purtători pe vârf 14
1.4.2.2.2.1.2. Comportarea în grup a piloților flotanți 14
1.4.2.2.2.1.3. Calculul eforturilor unitare normale în planul vârfului pilotului flotant 14
1.4.2.2.2.1.4. Extinderea zonei de influență a unui pilot izolat flotant 14
1.4.2.2.2.2. Comportarea grupei de piloți la forțe orizontale 15
1.4.2.2.2.3. Capacitatea portantă a grupei de piloți flotanți 15
1.4.2.2.2.4. Capacitatea portantă a grupei de piloți purtători pe vârf 15
1.4.2.2.2.5. Eficiența piloților lucrând în grup 15
1.4.2.3. Stabilirea preliminară a numărului de piloți, dispoziția în plan și orientarea acestora 15
1.4.2.4. Determinarea încărcării ce revine unui pilot din cadrul grupei de piloți 15
1.4.2.5. Calculul tasării pilotului izolat, lucrând în grup și a grupei de piloți 17
1.4.2.5.1. Calculul tasării pilotului izolat și lucrând în grup 17
1.4.2.5.2. Calculul tasării grupei de piloți 17
1.4.2.6. Verificarea piloților grupei și a grupei de piloți la starea limită de capacitate portantă (SLCP) și de deformație (SLD) 18
1.4.2.7. Alcătuirea și calculul radierului ce leagă și solidarizează capetele piloților 19
1.4.2.7.1. Definiție. Rol. Clasificare 19
1.4.2.7.2. Prescripții constructive de alcătuire a radierelor 19
1.4.2.7.3. Proiectarea radierelor din beton armat 19
BIBLIOGRAFIE 20

PREFAȚA

Condițiile de teren determină în diverse situații adoptarea sistemelor de fundare în adâncime, între care cele realizate cu ajutorul elementelor fișate ocupă un loc important.

Și aceasta datorită mobilizării eficiente și la valori semnificative a rezistențelor laterale și pe vârf a straturilor de pământ străbătute sau în care pătrund vârfurile piloților.

În categoria largă a elementelor fișate intră piloții obișnuiți, piloții forați de diametru mare și coloanele, toate având ca trăsătură comună transferul încărcărilor ce le revin către masivul de pământ, prin frecări laterale distribuite în lungul lor sau prin aplicare directă stratului în care se oprește vârful.

Pentru îndeplinirea acestei cerințe de bază, este necesar ca toate elementele componente ale sistemelor de fundare pe piloți să fie dimensionate și alcătuite în mod corespunzător.

Sub acest aspect, lucrarea da față conține într-o formă dezvoltată și sistematizată, un volum important de informații și date tehnice privind *„Calculul și alcătuirea fundațiilor pe piloți"*.

Succesiunea de prezentare și dezvoltare a materialului conținut în lucrare, înlesnește procesul de însușire și aprofundare a cunoștințelor privind sistemele de fundare în adâncime în general, respectiv ale fundațiilor pe piloți în mod special.

Prin conținutul său, lucrarea acordă importanța cuvenită elementelor fișate de legătură între fundația propriu-zisă și terenul de fundare, acestea fiind prezentate atât ca elemente izolate cât și lucrând în grup.

Lucrarea conține astfel în prima parte o descriere detaliată a principalelor categorii de piloți, cu evidențierea procedeelor și regulilor de alcătuire, a fenomenelor specifice dezvoltate în timpul punerii în operă, iar în partea a doua sunt prezentate și dezvoltate sistematic, etapele de proiectare a fundațiilor pe piloți.

În contextul celor arătate, lucrarea *„Calculul și alcătuirea fundațiilor pe piloți"* constituie o monografie a sistemelor de fundare pe piloți, care se adresează cu precădere studenților de la facultățile de profil, putând constitui însă un ghid practic și util inginerilor proiectanți de structuri, inginerilor și tehnicienilor din execuție și a tuturor specialiștilor cu preocupări în domeniu.

Autorul

Piloţii purtători pe vârf pătrund cu baza într-un strat practic incompresibil, iar transmiterea prin presiune a încărcării se face integral sau preponderent la contactul bazei pilotului cu terenul.

Piloţii flotanţi pot transmite integral încărcarea axială la teren prin frecarea pe suprafaţa laterală a pilotului sau preponderent prin frecare şi parţial prin presiunile de contact ale bazei cu terenul.

h. După poziţia axei pilotului se disting:
- piloţi verticali;
- piloţi înclinaţi.

Înclinarea piloţilor este limitată la $15^0 \div 20^0$ faţă de verticală din considerente de execuţie.

1.3. PRINCIPII DE ALCĂTUIRE CONSTRUCTIVĂ ŞI TEHNOLOGII DE REALIZARE A PILOŢILOR

Alcătuirea constructivă şi tehnologia de punere în operă constituie criterii de diferenţiere a tipurilor de piloţi în cadrul categoriilor menţionate la punctul 1.2, după cum rezultă din cele prezentate în continuare.

1.3.1. Alcătuirea constructivă a piloţilor prefabricaţi

În categoria piloţilor prefabricaţi intră: piloţii din lemn, piloţii din beton armat, piloţii din beton precomprimat, piloţii din metal şi piloţii înşurubaţi.

1.3.1.1. Piloţi din lemn

Au fost utilizaţi din cele mai vechi timpuri ca elemente de rezistenţă în cadrul sistemelor de fundare în adâncime.

În prezent acest tip de piloţi se utilizează mai puţin la lucrări cu caracter definitiv, întâlnindu-se în general la lucrări cu caracter provizoriu sau de importanţă redusă.

Eficienţa utilizării piloţilor din lemn comparativ cu alte tipuri de piloţi se apreciază pe baza principalelor avantaja şi dezavantaje pe care le prezintă.

Avantajele utilizării piloţilor din lemn se referă la:
- greutatea proprie redusă;
- procurarea cu uşurinţă a materialului lemnos;
- tehnologii şi mijloace relativ simple de introducere în teren;
- mâna de lucru relativ ieftină;
- preţ de cost redus în comparaţie cu alte tipuri de piloţi.

Ca principale dezavantaje ale acestei categorii de piloţi se pot preciza următoarele:

- lungimea relativ redusă a piloţilor;
- dimensiuni limitate ale secţiunii transversale;
- rezistenţe mecanice scăzute;
- durata de viaţă limitată.

În ţara noastră s-a folosit şi se foloseşte pentru realizarea piloţilor lemnul rotund sau ecarisat din esenţă de răşinoase (brad, pin) sau foioase (stejar).

Lemnul din care sunt realizaţi piloţii trebuie să îndeplinească o serie de condiţii legate de: diametrul minim şi maxim la capetele pilotului, variaţia secţiunii transversale, forma axei longitudinale, defectele de structură etc., astfel:

- pentru lungimi ale piloţilor cuprinse între (7-8)m, diametrul la partea inferioară, notat „d_i", să fie de minimum 15cm, iar diametrul la partea superioară, notat „d_s", să fie cel puţin 25cm;
- pentru lungimi ale piloţilor mai mari de (7-8)m, diametrul la partea inferioară să fie de minimum 15cm, iar la partea superioară, cel puţin 30cm;
- variaţia secţiunii transversale să fie uniformă (10mm/m);
- axa longitudinală a pilotului să fie rectilinie (să rămână în interiorul secţiunii transversale a elementului) sau aceasta să nu prezinte săgeată peste 1% din lungime;
- materialul să fie sănătos, fără a prezenta defecte de creştere, goluri şi noduri.

În condiţiile de mai sus, piloţii din lemn de esenţă răşinoasă ajung la lungimi de până la (16-20)m, iar cei din lemn de esenţă foioase ating lungimi de până la 8m.

Operaţiile de realizare a unui pilot din lemn constau în curăţirea de coajă (decojire) şi noduri, amenajarea vârfului şi capului pilotului.

Pentru uşurarea introducerii în teren, vârful pilotului se ascute în trei sau patru muchii şi se îmbracă cu un sabot metalic fig. 1.5.

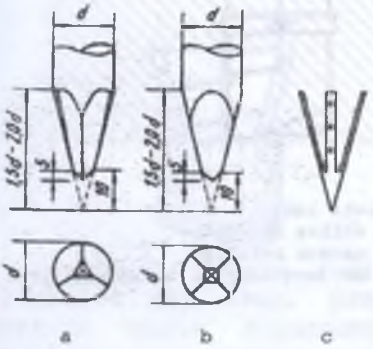


Fig. 1.5. Detalii de execuţie a vârfului pilotului
a. pilot ascuţit în trei muchii;
b. pilot ascuţit în patru muchii;
c. sabot metalic.

În terenuri ce opun rezistenţă redusă la baterea pilotului (terenuri argiloase), nu este necesară protejarea vârfului cu sabot metalic.

Necesitatea utilizării saboţilor se face prin probe pe piloţi de lemn neprotejaţi, urmărind modul de comportare a vârfului după scoaterea acestuia din pământ.

Capul superior al pilotului se protejează cu un inel metalic de formă tronconică, fig. 1.6a, cu înclinarea 1:20, astfel încât prin batere să se fixeze cât mai bine pe capul pilotului, sau cu ajutorul unei căciuli metalice, fig. 1.6b, ambele sisteme fixate la cald după o prealabilă prelucrare a capului pilotului.

Fig. 1.6. Detalii protecţie cap pilot
a. cu inel metalic;
b. cu ajutorul unei căciuli metalice

Dacă lungimea necesară pilotului nu este acoperită de gama de material lemnos disponibil, se procedează la înnădirea elementelor din lemn în variantele prezentate în fig. 1.7.

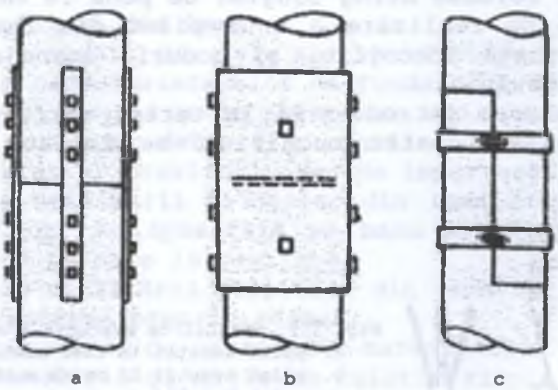


Fig. 1.7. Detalii de înnădire piloţi lemn
a. înnădire cap la cap cu eclise metalice;
b. înnădire cap la cap cu manşon metalic;
c. înnădire în jumătate de secţiune cu strângere prin semiinele metalice.

- ca piloţi flotanţi în pământuri coezive şi slab coezive de consistenţă redusă;
- ca piloţi lucrând în totalitate sub apă sau protejaţi prin creozotare pe zona expusă ciclurilor alternante de umezire-uscare;
- pentru lucrări provizorii sau cu caracter definitiv de importanţă redusă;
- pentru realizarea piloţilor mixti, la care partea situată în permanenţă sub apă este din lemn, iar cealaltă parte din beton, îmbinarea realizându-se ca în fig. 1.10.

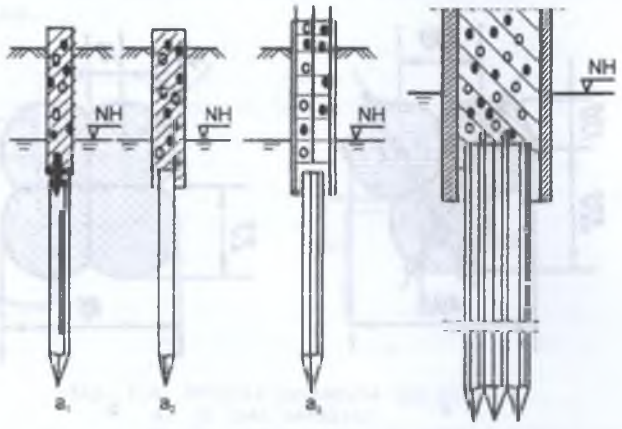


Fig. 1.10. Piloţi mixti - lemn şi beton
a. cu piloţii din lemn realizaţi dintr-un singur trunchi (a_1, a_2, a_3);
b. cu piloţii din lemn realizaţi din mai multe trunchiuri.

1.3.1.2. Piloţi din beton armat şi beton precomprimat

Se realizează într-o gamă variată de forme şi dimensiuni ale secţiunii transversale, răspunzând astfel unor cerinţe practice cu privire la:

- asigurarea lungimii necesare depăşirii straturilor de pământ cu portanţă redusă şi încastrarea vârfului într-un strat cu caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare;
- dimensiunile secţiunii transversale şi lungimea piloţilor, astfel încât aceştia să prezinte capacitate portantă necesară preluării încărcărilor, atât prin conlucrare cu terenul cât şi pe baza rezistenţei materialului din care sunt realizaţi.

Transferul sarcinilor ce revin pilotului către terenul cu care aceştia vin în contact, se poate realiza atât prin mobilizarea frecării laterale, în cazul „piloţilor flotanţi", cât şi a rezistenţelor pe vârf în cazul „piloţilor purtători pe vârf".

Lungimile uzuale ale piloţilor sunt cuprinse între (3-20)m, putându-se realiza şi din mai multe tronsoane îmbinate cap la cap, situaţie în care se pot obţine lungimi mari de până la 100m.

Dimensiunile secţiunii transversale utilizate frecvent în practica fundaţiilor pe piloţi sunt cuprinse între (20-60)cm, modulate la multiplu de 5cm şi sunt recomandate pentru formele pătrate, dreptunghiulare şi poligonale pline sau inelare, fig. 1.11.

În mod curent piloţii sunt realizaţi cu secţiunea transversală constantă pe toată lungimea.

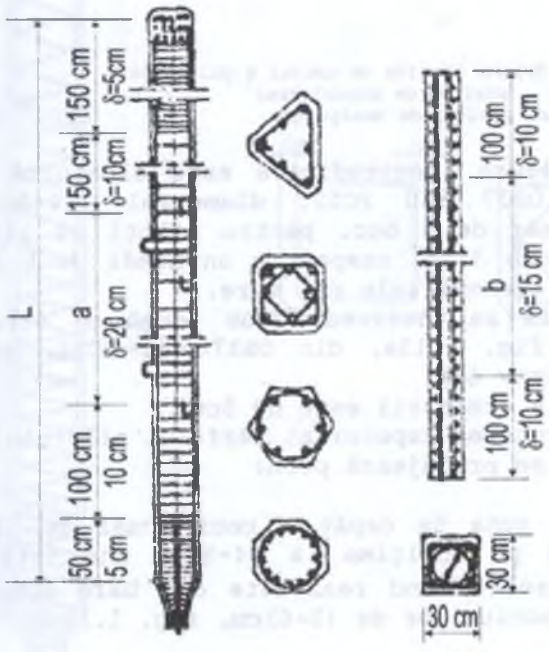


Fig. 1.11. Piloţi din beton armat
a. cu secţiune plină;
b. cu gol central.

La armarea piloţilor se vor avea în vedere condiţiile de solicitare pe timpul depozitării, manipulării, introducerii în teren şi a exploatării.

Armătura longitudinală a pilotului se determină pe baza solicitărilor datorate depozitării şi manipulării, considerând schemele statice din fig. 1.12.

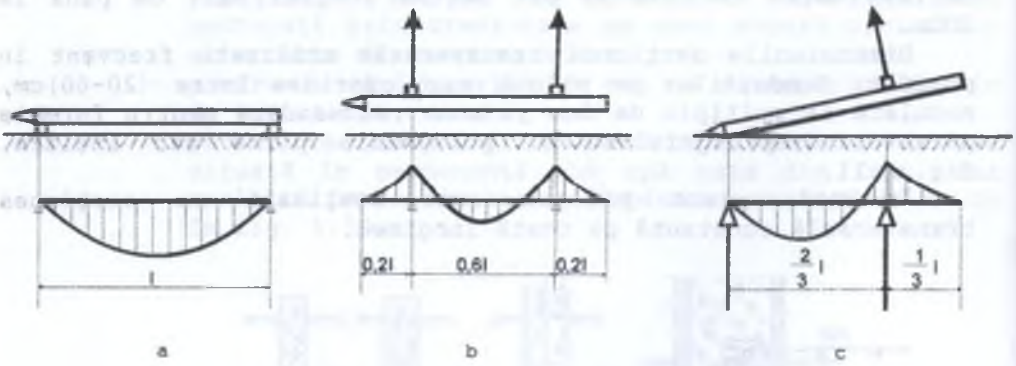


Fig. 1.12. Scheme statice de calcul a piloţilor.
a. poziţie de depozitare;
b,c. poziţii de manipulare

În mod curent, armătura longitudinală este alcătuită din bare din oţel beton OB37 sau PC52, diametrul (14-32)mm, dispuse frecvent în număr de 4 buc. pentru piloţi cu latura secţiunii transversale sub 35cm, respectiv un număr de 8 bare pentru latura secţiunii transversale mai mare.

Armătura transversală se realizează sub formă de etrieri sau fretă, fig. 1.11, fig. 1.13a, din OB37 sau PC52, având diametrul de 8mm, respectiv 6mm.

Acoperirea cu beton a armăturii este de 5cm.

Pentru a evita distrugerea capului şi vârfului pilotului în timpul baterii, acestea se protejează prin:

- dispunerea în zona de capăt a unui număr de (3-5) plase aşezate pe înălţime la (4-5)cm una faţă de cealaltă, plasele fiind realizate din bare ϕ6mm cu dimensiunile ochiurilor de (5-6)cm, fig. 1.11a;

- echiparea vârfului pilotului cu un dorn metalic (ϕ30-40mm) în jurul căruia se strânge armătura longitudinală, fig. 1.13b;

- protecţia zonei de vârf cu un sabot metalic montat la confecţionarea pilotului, în cazul când acesta urmează să pătrundă printr-o rocă stâncoasă sau semistâncoasă, fig. 1.13b.

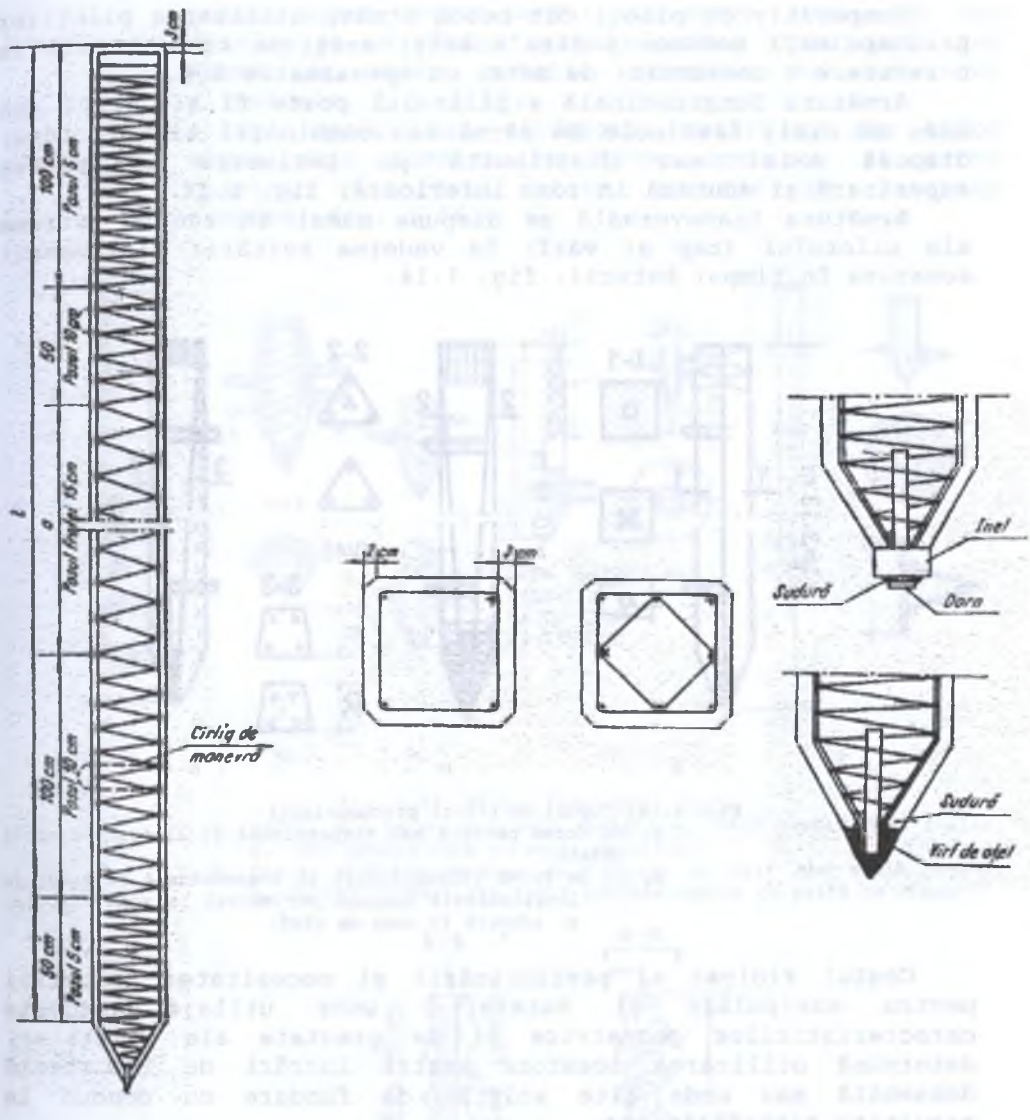


Fig. 1.13. Detalii de armare şi protecţie vârf piloţi
a. armare longitudinală şi transversală;
b. protecţie vârf pilot.

Piloţii din beton armat se realizează din beton de clasă minimă Bc22,5.

Piloţii din beton precomprimat sunt realizaţi din beton de clasă minimă Bc30, având forma secţiunii transversale pătrată, triunghiulară, trapezoidală, stea cu secţiunea transversală plină, parţial sau integral precomprimaţi.

Comparativ cu piloţi din beton armat, utilizarea piloţilor precomprimaţi conduce pentru aceeaşi secţiune transversală la o reducere a consumului de metal cu aproximativ 50%.

Armătura longitudinală a pilotului poate fi realizată din bare de oţel, fascicole de sârmă sau combinaţii ale acestora, dispusă axial sau distribuită pe perimetru la partea superioară şi adunată în zona inferioară, fig. 1.14.

Armătura transversală se dispune numai în zonele extreme ale pilotului (cap şi vârf) în vederea evitării distrugerii acestora în timpul baterii, fig. 1.14.

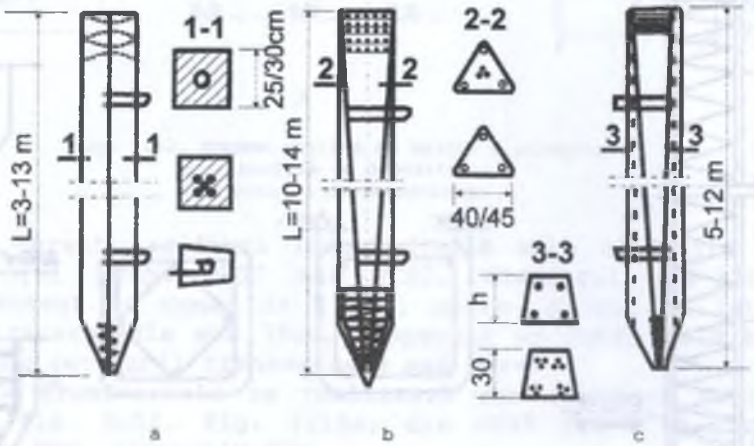


Fig. 1.14. Tipuri de piloţi precomprimaţi
a. cu forma pătrată sau trapezoidală şi armătura dispusă axial;
b, c. de formă triunghiulară şi trapezoidală cu armătura longitudinală dispusă perimetral în zona corpului şi adunată în zona de vârf.

Costul ridicat al prefabricării şi necesitatea folosirii pentru manipulare şi batere a unor utilaje adecvate caracteristicilor geometrice şi de greutate ale piloţilor, determină utilizarea acestora pentru lucrări de importanţă deosebită sau unde alte soluţii de fundare nu conduc la rezultate satisfăcătoare.

Piloţii Mega constituie o variantă de execuţie a piloţilor din beton armat prefabricat, sunt realizaţi din tronsoane prefabricate scurte, având forma secţiunii transversale circulară (d=23-45cm) sau pătrată (a≤45cm) şi lungimi cuprinse între (0,8-1,0)m.

Datorită lungimii reduse, piloţii Mega constituie una din soluţiile de consolidare a fundaţiilor de suprafaţă.

Piloţii înşurubaţi constituie o variantă de execuţie a piloţilor prefabricaţi putând fi realizaţi sub formă de:

- piloţi lungi având corpul din beton armat sau tub metalic şi un vârf ataşat la partea inferioară, sub formă de sabot metalic prevăzut cu aripioare elicoidale, fig. 1.15;
- piloţi scurţi sau elicoidali realizaţi din beton armat prin turnare în forme speciale şi având filetul elicoidal extins aproape pe întreaga lungime, fig. 1.16.

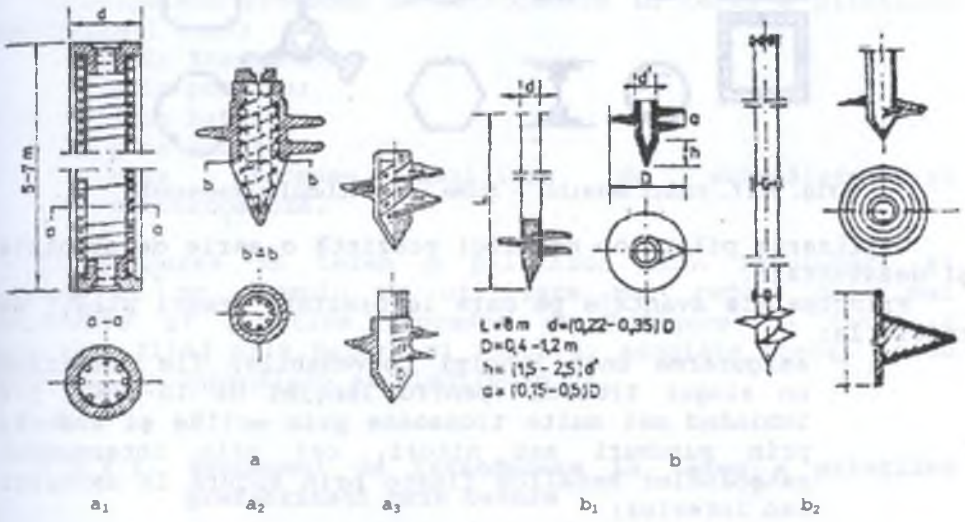


Fig. 1.15. Piloţi înşurubaţi lungi
a. piloţi din beton (a_1. corp inelar; a_2. vârf pentru corp inelar; a_3. vârf pentru corp cu secţiune plină);
b. piloţi din tub metalic (b_1. piloţi cu vârf din tablă groasă; b_2. piloţi cu vârf din tablă subţire umplut cu pastă de ciment).

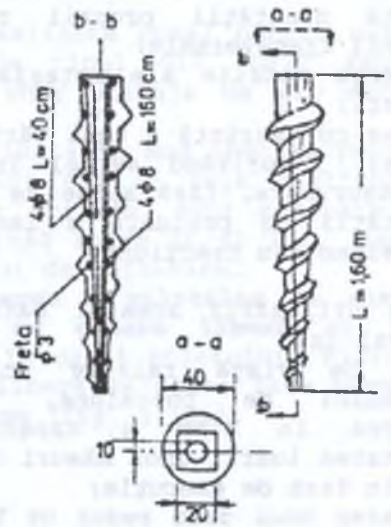


Fig. 1.16. Piloţi elicoidali scurţi (formă în elevaţie şi secţiuni)

1.3.1.3. Piloţi metalici

Se pot realiza din ţeavă, palplanşe sau profile din oţel laminat cu secţiunea transversală simplă sau compusă, în general forme I, H, casetate şi tubulare fig. 1.17.

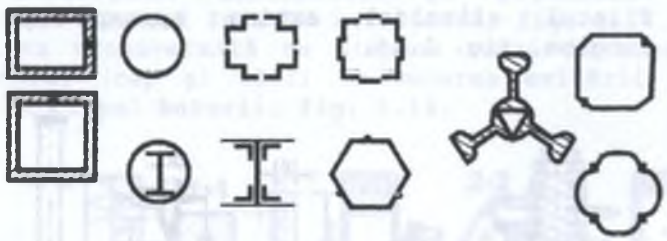


Fig. 1.17. Piloţi metalici - forme ale secţiunii transversale

Utilizarea piloţilor metalici prezintă o serie de avantaje şi dezavantaje.

Principalele avantaje pe care le prezintă aceşti piloţi se referă la:

- asigurarea unor lungimi convenabile, fie utilizând un singur tronson (pentru lungimi de 10-30m), fie îmbinând mai multe tronsoane prin eclise şi sudură, prin şuruburi sau nituri, ori prin intermediul manşoanelor metalice fixate prin sudură la exterior sau interior;
- comportarea bună sub încărcări axiale de compresiune şi smulgere precum şi la încărcări transversale datorită posibilităţii de umplere cu beton a piloţilor de secţiune casetată şi tubulară;
- manipulare uşoară şi introducere facilă în teren datorită greutăţii proprii reduse şi a formei secţiunii transversale;
- rezistenţe sporite ale materialului din care sunt realizaţi;
- ataşarea cu uşurinţă a unui vârf elicoidal piloţilor tubulari, favorizând astfel introducerea în teren prin înşurubare, fără surse de vibraţii şi sporirea capacităţii de preluare a încărcărilor axiale de compresiune sau tracţiune.

Dezavantajele utilizării acestei categorii de piloţi se referă în principal la:

- durată de viaţă relativ scăzută ca urmare a fenomenului de coroziune, fapt ce determină reducerea în timp a capacităţii portante şi necesitatea luării unor măsuri de protecţie adecvate încă din faza de execuţie;
- realizarea unui grad redus de îndesare a pământului din vecinătatea pilotului (în special a celor

deschişi) ca urmare a dislocuirii în timpul introducerii în teren a unui volum redus de pământ;
- preţul de cost ridicat al metalului.

1.3.2. Procedee de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi

Principalele procedee de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi sunt:
- prin înşurubare;
- prin presare;
- prin batere;
- prin vibrare;
- prin procedee auxiliare de subspălare şi electroosmoză.

Introducerea în teren a piloţilor prin înşurubare şi presare au un domeniu de utilizare mai redus, cele mai răspândite şi practice procedee de înfigere în teren a piloţilor fiind prin batere şi vibrare, asociate uneori şi cu fenomenul de subspălare şi electroosmoză.

1.3.2.1. Procedeul de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi prin batere

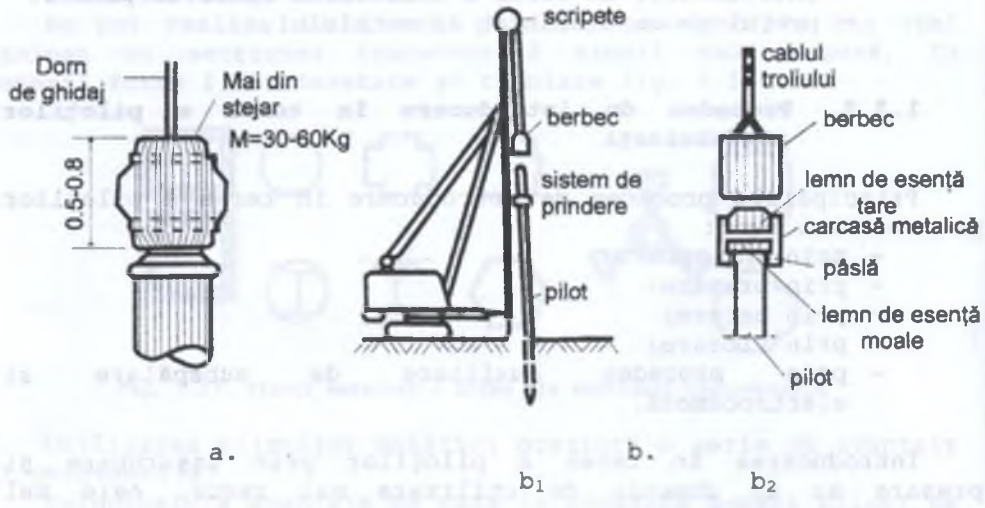
Instalaţia mecanică utilizată se numeşte sonetă.

Aceasta susţine, ghidează şi asigură căderea liberă, cu ajutorul aburului sau aerului comprimat, cu simplă şi dublă acţiune şi prin combustie Diesel, a unei piese (greutăţi) denumită berbec.

Sonetele pot fi realizate numai pentru baterea piloţilor, aşa cum sunt cele de tipul G17, GF22 sau obţinute prin echiparea adecvată a unor utilaje de tip macara, excavator, draglină.

Atât sonetele fabricate în mod special pentru introducerea prin batere a piloţilor cât şi cele realizate prin dotarea corespunzătoare a unor utilaje, sunt echipate cu berbeci din fontă având masa cuprinsă între 1t şi 10t, funcţie de sarcina maximă admisă a cablului de acţionare.

Introducerea în teren a piloţilor cu ajutorul sonetelor echipate cu berbeci cu cădere liberă se realizează prin aplicarea de lovituri în capul pilotului. Ridicarea berbecului în poziţia de cădere liberă se poate face **manual** (fig. 1.18a) sau **cu mijloace mecanice** (fig. 1.18b).



a. b.

b_1 b_2

Fig. 1.18. Berbec cu cădere liberă
a. cu ridicare manuală;
b. cu ridicare mecanică (b_1. vedere de ansamblu; b_2-detaliu berbec și protecție cap pilot).

Inconvenientul principal al acestui procedeu de batere a piloților îl constituie frecvența redusă a loviturilor (5-10 lovituri/minut) și lungimea mare a lumânării de ghidaj a berbecului.

De aceea, utilizarea sonetelor echipate cu berbeci cu cădere liberă se face atunci când:

- închirierea sonetelor cu berbeci acționați cu abur sau tip Diesel nu se justifică din punct de vedere economic;
- numărul piloților de introdus în teren este redus.

Sonetele echipate cu berbeci acționați cu abur, aer comprimat sau Diesel sunt utilizate în cazul lucrărilor cu număr mare de piloți, asigurând o reducere semnificativă a duratei de execuție a acestora.

Berbecii a căror agent de acționare este aburul sau aerul comprimat pot fi cu simplă sau dublă acțiune, fig. 1.19.

În cazul berbecilor cu simplă acțiune, agentul utilizat asigură numai ridicarea greutății, căderea acesteia fiind liberă, iar în cazul berbecilor cu dublă acțiune se asigură atât ridicarea cât și coborârea berbecului sub forța aburului sau aerului comprimat.

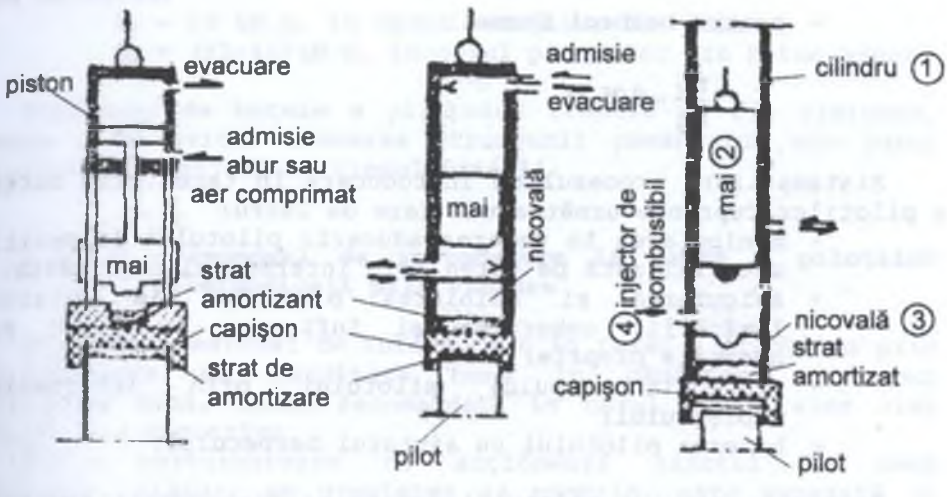


Fig. 1.19. Berbeci cu acţiune mecanică
a. cu simplă acţiune; b. cu dublă acţiune; c. tip Diesel.

Eficienţa utilizării berbecilor cu acţionare mecanică o constituie frecvenţa ridicată de lovire a capului pilotului, de 0,5Hz în cazul celor cu simplă acţiune şi (1,6-4)Hz în cazul celor cu acţiune dublă.

Berbecii tip Diesel fac parte din categoria echipamentelor mecanice de batere, sunt uşor de manipulat, au un consum redus de combustibil (4-16)l/oră şi o frecvenţă de lovire cuprinsă între (42-60) lovituri/minut pentru o masă de (12,5-22)KN.

O secţiune transversală efectuată printr-un berbec Diesel (fig. 1.19c) arată că acesta este alcătuit din: ① cilindru; ② mai; ③ nicovală şi sistemul de injecţie a combustibilului ④.

În faza iniţială maiul este ridicat în poziţia de lucru printr-un procedeu mecanic, după care se lasă să cadă liber, moment în care combustibilul injectat în zona inferioară a cilindrului se aprinde datorită aerului cald comprimat de mai.

Aprinderea combustibilului provoacă o explozie ce asigură ridicarea maiului şi înfigerea pilotului în teren.

Lungimea maiului este cuprinsă între (3,5-8,2)m, frecvent fiind utilizată lungimea de (4,5-6,0)m.

Eficienţa înfigerii în teren a pilotului este asigurată de existenţa unui raport optim între masa maiului (m_1) şi masa pilotului (m_2), după cum urmează:

- pentru berbeci cu abur sau aer comprimat:

$$\frac{m_1}{m_2} = 0,5-1;$$

- pentru berbeci Diesel:

$$\frac{m_1}{m_2} = 0{,}25 - 1 .$$

Sistematizat, procesul de introducere în teren prin batere a piloţilor cuprinde următoarele faze de lucru:

- manipularea în vederea aducerii pilotului la poziţia materializată pe teren prin intermediul unui ţăruş;
- asigurarea şi alinierea pilotului la glisiera lumânării, coborârea şi înfigerea în teren sub greutate proprie;
- protecţia capului pilotului prin intermediul capişonului;
- baterea pilotului cu ajutorul berbecului.

Protecţia capului pilotului împotriva distrugerii acestuia datorită loviturilor aplicate se face cu ajutorul unui capişon fig. 1.18b sub forma unei căşti metalice aşezate între două straturi din lemn, unul de esenţă moale dispus la partea inferioară şi celălalt din lemn de esenţă tare situat la partea superioară.

Spaţiul rămas liber între pereţii căştii metalice şi pilot se umple cu păslă pentru a evita contactul direct şi deteriorarea betonului pe această porţiune.

Lemnul poate fi înlocuit şi cu alt produs pe bază de plastic sau cauciuc.

Eficienţa baterii pilotului este maximă atunci când energia cinetică iniţială a berbecului are valoarea maximă, respectiv când coeficientul de utilizare eficientă a energiei cinetice m_e este egal cu unitatea, iar greutatea berbecului notată Q este infinit mai mare decât greutatea pilotului notată q, având în vedere relaţiile:

$$E_c = E_{co} \cdot m_e \qquad (1)$$

$$E_{co} = Q \cdot v^2_0 / 2g \qquad (2)$$

unde:

E_c - reprezintă energia cinetică totală;

E_{co} - reprezintă energia cinetică în momentul impactului;

m_e - coeficient de utilizare eficientă a energiei cinetice;

v_0 - viteza de lovire în momentul impactului;

g - acceleraţia gravitaţională.

În realitate raportul q/Q se limitează la valorile:

q/Q = 0,4 - 0,5, pentru piloţii din lemn;

q/Q = 0,66 = 1,33, pentru piloţii din beton armat, din condiţia de nedeteriorare a capului pilotului.

În mod practic cunoscând greutatea berbecului Q, exprimată în kN, se determină înălţimea H (în metri) de cădere a

acestuia, astfel încât lucrul mecanic al unei lovituri (L_m) să aibă valoarea:

L_m = 15 kN.m, în cazul piloţilor din lemn;

L_m = (20-40)kN.m, în cazul piloţilor din beton armat.

Frecvenţa de batere a pilotului trebuie să fie ridicată, pentru a se evita refacerea structurii pământului din jurul pilotului, deranjată în timpul baterii.

1.3.2.2. Procedeul de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi prin vibrare

Utilizarea metodei de introducere în teren a piloţilor prin vibroînfigere dă rezultate bune în pământuri ce opun rezistenţă mică, fiind recomandată în cazul depozitelor slab coezive sau necoezive.

Forţa perturbatoare ce acţionează pilotul în sens favorabil, alături de greutatea sa proprie, este generată de un echipament special ataşat sonetei, denumit vibroînfigător, fig. 1.20.

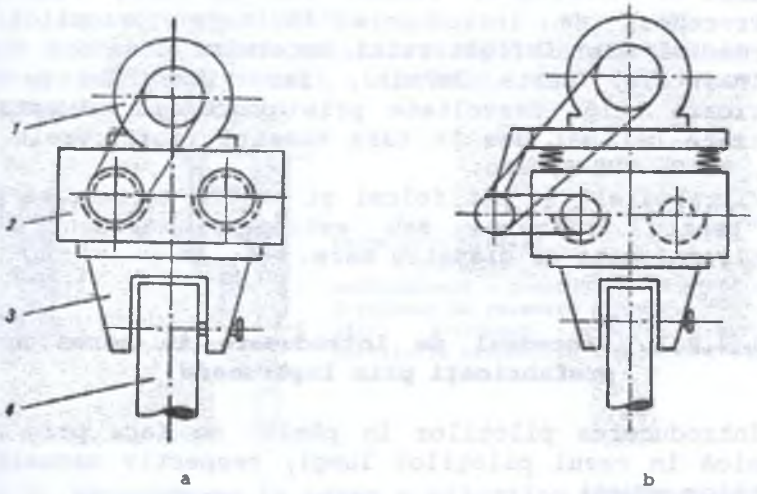


Fig. 1.20. Ansamblu vibroînfigător - cap pilot
a. cu prindere rigidă;
b. cu prindere elastică.

Urmărind fig. 1.20, ce ilustrează echiparea capului pilotului prefabricat cu utilajul specific de lucru (vibroînfigătorul), se observă că în componenţa acestuia intră motorul electric ①, excentricul dublu ②, piesa de prindere ③ şi pilotul ④.

Motorul electric acţionează cei doi excentrici ce se învârt în sensuri contrarii dezvoltând forţa vibratorie ce se transmite pilotului prin intermediul capişonului de protecţie.

Forţa perturbatoare de natură oscilatorie, generată de mişcarea excentricelor, depăşeşte în intensitate valoarea de 700kN, iar amplitudinea oscilaţiilor (A) este cuprinsă în intervalul (6÷50)mm pentru frecvenţe între (0÷30)Hz.

Pentru un anumit regim de vibraţii, pilotul învinge rezistenţa frontală a pământului, înregistrându-se deplasarea suprafeţei laterale, respectiv **desprinderea** pilotului.

Utilizarea vibroînfigătorului cu prindere rigidă a vibratorului, fig. 1.20a, prezintă unele neajunsuri legate de lipsa posibilităţii de majorare a presiunii pe pilot, deosebit de utilă în timpul înfigerii, lipsa posibilităţii de mărire a puterii vibromaşinii şi slaba comportare a electromotorului la vibraţii.

Aceste neajunsuri sunt eliminate de vibroînfigătoarele cu prindere elastică a vibratorului fig. 1.20b, conceput de O.A. Savinov şi A.I.A. Juskin.

Nivelul frecvenţei dezvoltat de vibroînfigător indiferent de tipul prinderii vibratorului trebuie corelat cu greutatea proprie a pilotului, recomandându-se frecvenţe înalte (35-40)Hz pentru elemente uşoare, respectiv frecvenţe joase pentru piloţi grei din beton armat, cu secţiune plină sau coloane.

Procedeul de introducere în teren a piloţilor prin intermediul vibroînfigătorului determină acestora viteze mari de înaintare, peste 3m/min., iar vibraţiile produse sunt inferioare celor dezvoltate prin procedeul de batere, fiind utilizate cel mai des în ţara noastră vibratoarele tip VP-1, VE-1, VE-2, VPE-2, etc.

Vibratoarele se pot folosi şi pentru extragerea piloţilor, sau pentru înfigerea sau extragerea coloanei în cazul piloţilor foraţi de diametru mare.

1.3.2.3. Procedeul de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi prin înşurubare

Introducerea piloţilor în pământ se face prin înşurubare mecanică în cazul piloţilor lungi, respectiv manuală în cazul piloţilor scurţi.

Înşurubarea mecanică se realizează prin intermediul unui utilaj prevăzut cu un mecanism tip cabestan ce se fixează pe capul pilotului, asigurând obţinerea unei viteze mari de înşurubare a pilotului, respectiv de avansare în teren de (20-30)m/h.

Piloţii lungi se utilizează pentru adâncimi cuprinse între (10-50) m sub formă de piloţi verticali sau înclinaţi (panta peste 3:1).

Piloţii scurţi de tip elicoidal asigură adâncimi de fundare mult mai reduse, fiind utilizaţi în cazul construcţiilor de locuinţe cu max. 2 niveluri, pentru clădiri cu caracter provizoriu, la susţinerea jgheaburilor pentru irigaţii,

ancorarea stâlpilor electrici sau consolidarea terenurilor pe înălţime redusă împotriva alunecării.

Principalele avantaje ale piloţilor înşurubaţi se referă la:

- posibilitatea introducerii lente în teren, fără vibraţii;
- comportarea bună la solicitări axiale de compresiune şi smulgere, comparativ cu alte categorii de piloţi dar având aceleaşi caracteristici geometrice.

1.3.2.4. Procedeul de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi prin presare

Procedeul constă în aplicarea pe capul pilotului a presiunii dezvoltate prin intermediul unei prese.

Presiunile dezvoltate pe capul pilotului asigură învingerea rezistenţei frontale şi laterale ale pământului, fapt ce determină înaintarea pilotului în teren.

Procedeul de introducere în teren a piloţilor prin presare are utilizare practică mai redusă comparativ cu cele de înfigere prin batere şi vibrare.

Figura 1.21 ilustrează aplicarea acestui procedeu în cazul piloţilor prefabricaţi scurţi, tip Mega, utilizaţi ca soluţie de consolidare a fundaţiilor.

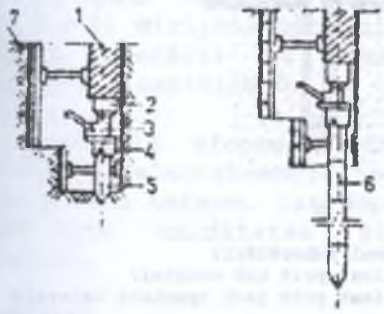


Fig. 1.21. Piloţi Mega introduşi în teren prin presare.
1-fundaţie de consolidat; 2-placă de uniformizare a presiunilor; 3-presă manuală; 4-tronson de rezemare a presei; 5-tronson cu vârf; 6-tronson curent; 7-sistem de sprijinire orizontală a malurilor săpăturii.

1.3.2.5. Pătrunderea în teren a piloţilor prefabricaţi prin efectul subspălării

În anumite condiţii de teren, procedeele de înfigere a piloţilor prin batere sau vibrare întâmpină greutăţi, sau nu asigură viteza satisfăcătoare de înaintare.

Aceste neajunsuri pot fi îmbunătăţite prin procedeul auxiliar de subspălare, aplicat în cazul pământurilor necoezive sau slab coezive, care opun rezistenţe mari la batere.

Procedeul subspălării constă în introducerea apei sub presiune în zona de vârf a pilotului sub efectul căreia sunt

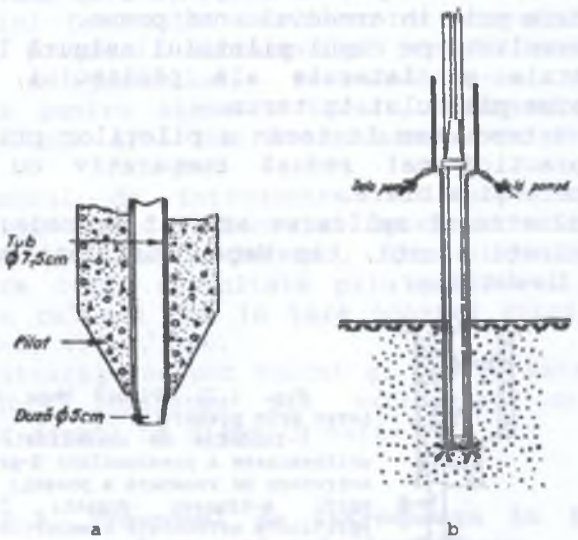
dislocate şi antrenate particulele de pământ, favorizând înaintarea acestuia în teren.

Masa curgătoare astfel formată se deplasează în lungul pilotului spre suprafaţa terenului, micşorând astfel frecarea pământului pe suprafaţa laterală.

În aceste condiţii pilotul înaintează în teren sub efectul unor lovituri slabe de berbec sau numai sub greutatea proprie.

Datorită afânării puternice a pământului din zona de vârf a pilotului, operaţia de subspălare este oprită la cca. 1-2m deasupra cotei finale, adâncime pe care pilotul este introdus în teren prin batere.

Introducerea jetului de apă se poate face prin orificii verticale sau ţevi prevăzute de la turnare, fig. 1.22a, fie prin echiparea pilotului în timpul înfigerii cu ţevi speciale amplasate lateral, denumite lănci, fig. 1.22b.



a b

Fig. 1.22. Procedeul subspălării
a. cu jetul de apă aplicat prin tub central;
b. cu jetul de apă aplicat prin ţevi speciale laterale.

După aşezarea vârfului pilotului pe poziţia de înfigere, se coboară lăncile la 0,5m deasupra terenului, se introduce apă sub presiune ce antrenează pământul de sub vârf, determinând înaintarea sub greutate proprie sau în urma aplicării de lovituri uşoare.

Ţevile de echipare a pilotului au diametrul de 40-45mm ce se îngustează spre capăt asigurând presiuni ale apei de 7-20 bari.

În continuare lăncile se coboară cu cca. 0,25m sub vârful pilotului, asigurând antrenarea şi dislocarea pământului, reducând astfel rezistenţa acestuia la înaintarea pilotului.

Debitul de apă trimis prin tubul central sau ţevile laterale este esenţial pentru acest procedeu de introducere în teren a piloţilor.

Astfel, pentru piloţi cu latura sau diametrul de 25-30cm, debitele necesare de apă sunt cuprinse între:

0,90 - 1,35 m^3/min pentru nisipuri fine;
1,35 - 2,30 m^3/min pentru nisipuri mari;
2,70 - 3,60 m^3/min pentru pietrişuri cu nisip.

Procedeul auxiliar de subspălare poate deveni imposibil de aplicat în cazul straturilor de nisip acoperite cu orizonturi argiloase care împiedică evacuarea apei.

1.3.2.6. Pătrunderea în teren a piloţilor prefabricaţi prin efectul electroosmozei

Pentru pământuri argiloase compacte, înfigerea în teren a piloţilor poate fi uşurată prin utilizarea curentului electric.

Procedeul are la bază migrarea apei de la anod spre catod în prezenţa unei diferenţe de potenţial, prin fenomenul de eletroosmoză.

Introducând astfel în pământ doi conductori ce se conectează la bornele unei surse de curent continuu, apa se va deplasa de la anod spre catod, fig. 1.23.

Dacă cei doi conductori sunt înlocuiţi de piloţi din beton armat echipaţi cu electrozi sau piloţi din metal, apa din pământ va fi dirijată spre pilotul cu rol de catod determinând reducerea frecării ca urmare a creşterii umidităţii şi înaintarea lesnicioasă în teren sub efectul loviturilor aplicate.

Cercetările efectuate de B.A. Nikolaeva au arătat că fenomenul de electroosmoză reduce de 2-3 ori forţa loviturilor aplicate prin batere, iar după înlăturarea sursei de curent se restabileşte umiditatea şi rezistenţa la forfecare a pământului.

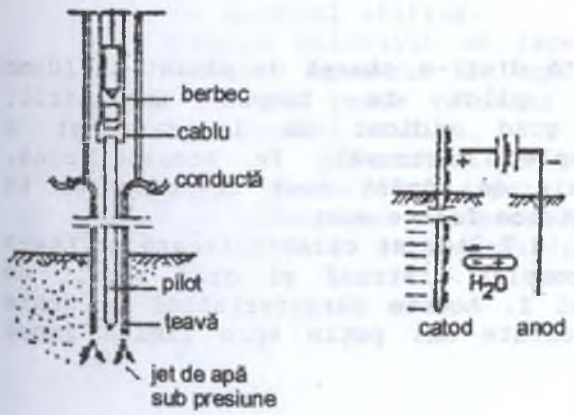


Fig. 1.23. Fenomenul de electroosmoză

1.3.2.7. Fenomene ce au loc la introducerea în teren a piloţilor prefabricaţi

Introducerea în teren a piloţilor prefabricaţi produce dislocuirea şi împingerea laterală a pământului din zona ocupată de aceştia.

De asemenea, procedeele de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi prin batere sau vibrare determină asupra pământului din jur o stare de solicitare dinamică suplimentară.

Se constată astfel că introducerea în teren a piloţilor prefabricaţi determină pe o anumită zonă din jur modificarea condiţiilor de stare ale pământului, caracterizate prin: distrugerea structurii, deplasarea şi reorientarea particulelor, sporirea gradului de îndesare, deplasarea apei, schimbarea diferenţiată pe zona de influenţă a stării de tensiune şi a rezistenţelor mecanice.

Urmărind fig. 1.24, se constată patru zone caracteristice aferente volumului de pământ situat în jurul pilotului prefabricat.

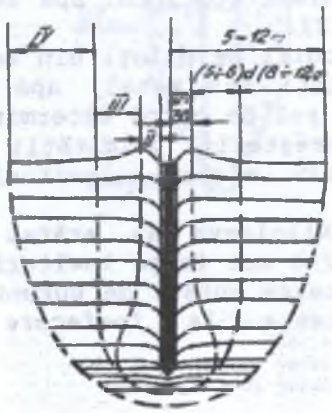


Fig. 1.24. Zonele de influenţă la introducerea în teren a piloţilor prefabricaţi.

Zona I este constituită dintr-o cămaşă de pământ (2-10)mm grosime, antrenată de pilot în timpul deplasării, caracterizată printr-un grad ridicat de îndesare şi o structură degradată (complet distrusă). Pe această zonă, primele straturi orizontale de pământ sunt transformate în suprafeţe verticale concentrice foarte subţiri.

Zona II în grosime de (0,7-3)d, se caracterizează printr-o structură a pământului complet distrusă şi grad sporit de îndesare spre limita zonei I. Aceste caracteristici de stare ale pământului sunt dezvoltate mai puţin spre limita zonei III.

Gradul de îndesare şi creşterea eforturilor unitare orizontale în stratul de pământ determină sporirea presiunii apei din pori şi deplasarea acesteia spre zonele superioare.

Se remarcă de asemenea la nivelul terenului şi la limită cu zona III o ridicare maximă a terenului.

Zona III începe după punctul de ridicare maximă, prezintă o suprafaţă de formă convexă şi are o grosime egală cu (5-6)d.

Zona III se caracterizează printr-o structură a pământului foarte puţin deranjată (practic nederanjată), o afânare superficială datorită eforturilor de întindere şi alunecare, precum şi o sporire a umidităţii.

Zona IV are grosimea cuprinsă între (8-12)d, păstrând aproape neschimbată structura, starea şi proprietăţile iniţiale ale pământului.

Se constată că asupra lucrului fundaţiei pe piloţi influenţează în mod practic numai primele trei zone.

Sub vârful pilotului fig. 1.24, se formează un bulb sferic de pământ îndesat, având grosimea cuprinsă între (2-4)d.

Existenţa şi mărimea acestei zone sferice, influenţează în mare măsură comportarea pilotului şi a fundaţiei pe piloţi la sarcini axiale de compresiune.

Mărimea zonelor de influenţă şi intensitatea cu care se produc fenomenele menţionate sunt în strânsă corelaţie cu natura pământului, condiţiile iniţiale de stare, metoda de introducere în teren a pilotului şi adâncimea de batere.

Procesul de batere a pilotului conduce la modificarea stării de presiune a apei din pori, favorizând formarea curenţilor de apă a căror intensitate depinde de porozitatea pământului.

În cazul pământurilor nisipoase formarea curentului de apă este strâns legată de gradul de îndesare a nisipului, astfel încât presiunea apei din pori sporeşte şi se menţine în timp odată cu creşterea fineţei de măcinare.

Pentru nisipuri saturate afânate, curentul de apă format în procesul de batere accentuează starea de afânare a nisipului sub vârful pilotului favorizând înaintarea acestuia în teren, iar rezistenţa opusă baterii este inferioară celei dezvoltate la aplicarea sarcinii statice.

Dacă baterea pilotului se face într-un orizont de nisip saturat îndesat, curentul de apă ce se formează sporeşte rezistenţa la vârf peste valoarea celei întâmpinată de pilot la aplicarea sarcinii statice.

Studiile şi observaţiile făcute în cazul piloţilor introduşi prin batere în nisipuri cu grad de îndesare medie, au evidenţiat extinderea fenomenelor ce însoţesc baterea numai până la distanţa de 6r faţă de axa pilotului fig. 1.25.

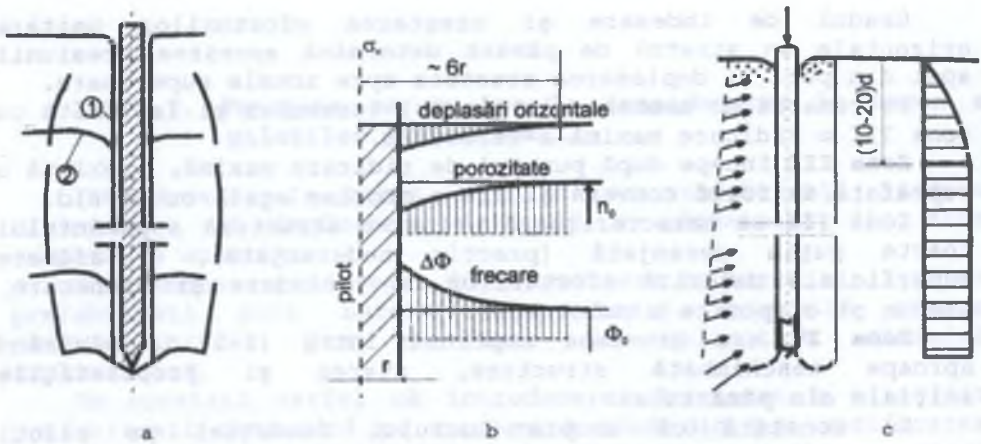


Fig. 1.25. Zonele de influenţă din jurul piloţilor introduşi prin batere în nisipuri de îndesare medie.
a. extinderea zonelor de influenţă;
b. diagramele unor caracteristici ale pământului;
c. distribuţia frecărilor laterale.

Urmărind fig. 1.25a, se constată formarea doar a zonelor de influenţă I şi II, prin antrenarea nisipului în sensul de deplasare a pilotului şi refularea sa în lateral.

Datorită acestor fenomene, se produc deplasări orizontale ale particulelor de pământ care determină local reducerea porozităţii şi creşterea unghiului de frecare internă, fig. 1.25b.

Distribuţia frecărilor laterale în lungul pilotului prezentată în fig. 1.25c, pune în evidenţă variaţia pe adâncime a caracteristicilor pământului.

Limita de separaţie s-ar putea situa la adâncimea de (10-20)d măsurată de la suprafaţa terenului, aşa cum arată distribuţia frecărilor laterale din fig. 1.25c.

În cazul pământurilor argiloase se constată prezenţa zonelor de influenţă I şi II, extinse pe distanţa 2d, măsurată din axul pilotului, fig. 1.26a.

Zona I se caracterizează printr-o structură a pământului complet distrusă, iar zona II printr-o îndesare puternică.

Extinderea zonelor I şi II numai pe distanţa 2d se datorează permeabilităţii reduse la apă a pământului în care se realizează baterea pilotului.

Procesul de batere a piloţilor în terenuri argiloase determină modificări importante ale rezistenţei la forfecare, fig. 1.26b.

Se constată astfel urmărind curbele trasate în timp, respectiv imediat după batere (curba 2), la o zi după batere (curba 3) şi la câteva săptămâni (curba 4), evoluţia în timp a rezistenţei la forfecare a pământului comparativ cu cea avută înainte de batere (curba 1).

Creşterea presiunii apei din pori şi comprimarea laterală a pământului în timpul baterii pilotului produc scăderea rezistenţei la forfecare, fig. 1.26b (curba 2).

În timp însă creşterea presiunii apei determină dezvoltarea unui proces de consolidare a structurii pământului (care depinde de permeabilitatea acestuia la apă) ce explică valorile ridicate ale rezistenţei la forfecare după încetarea baterii şi care pot fi uneori mai mari decât cele avute înainte de batere, fig. 1.26c.

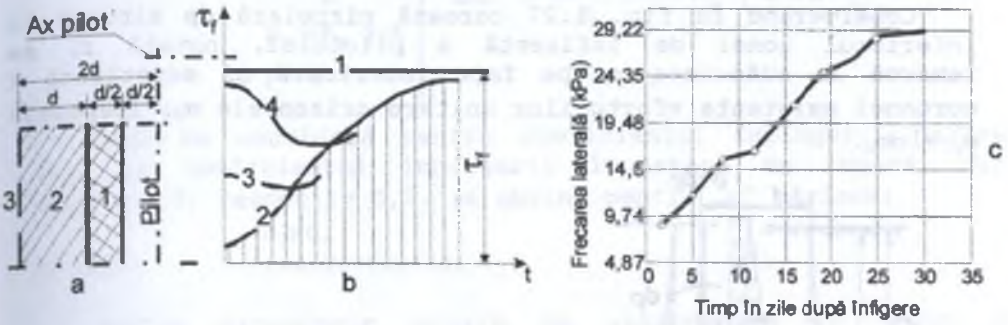


Fig. 1.26. Fenomene legate de introducerea în terenuri argiloase a piloţilor prefabricaţi
a. zonele de influenţă;
b. curbele de variaţie a rezistenţei la forfecare a pământului;
c. variaţia în timp a frecărilor laterale.

Valorile ridicate ale rezistenţei la forfecare determină creşterea frecărilor unitare între pilot şi pământ, iar durata necesară atingerii valorilor maxime ale frecării poartă numele de **„timp de odihnă"**.

Încărcarea piloţilor se poate face numai după trecerea timpului de odihnă.

Diferenţa de presiune piezometrică a apei din zona imediată pilotului poate influenţa negativ comportarea piloţilor vecini, la care subpresiunea formată poate determina ridicarea acestora.

Introducerea în teren a piloţilor prefabricaţi generează mişcări vibratorii ale particulelor de pământ ce pot deveni periculoase pentru construcţiile sau piloţii vecini, în special în cazul orizonturilor formate din nisipuri saturate, la care distrugerea structurii prin lichefiere poate conduce la tasări semnificative.

Se consideră că pentru viteze de introducere în teren a piloţilor sub 5cm/s, vibraţiile produse nu sunt periculoase, însă în cazul nisipurilor afânate în stare saturată s-a constatat practic că şi vitezele de înaintare a piloţilor cuprinse între (0,2-1)cm/s determină tasări importante.

Vibraţiile produse în timpul baterii piloţilor cu ajutorul sonetelor sunt semnificative până la o distanţă cuprinsă între

(50-100)m, când pot determina tasări suplimentare ale construcţiilor situate pe această distanţă de până la 8cm.

Din considerentele arătate, efectul vibraţiilor dezvoltate, trebuie avut în vedere şi la stabilirea distanţelor minime dintre piloţi şi a ordinii de introducere a acestora în terenurile nisipoase.

Astfel în cazul pământurilor nisipoase distanţa minimă între axele a doi piloţi vecini va fi de cel puţin 3 ori diametrul pilotului aşa cum rezultă din demonstraţia care urmează.

Considerând în fig. 1.27 coroană circulară dρ situată în interiorul zonei de influenţă a pilotului, notată r, se remarcă la adâncimea z, pe faţa interioară şi exterioară a coroanei existenţa eforturilor unitare orizontale σ_x, respectiv $\sigma_x + d\sigma_x$.

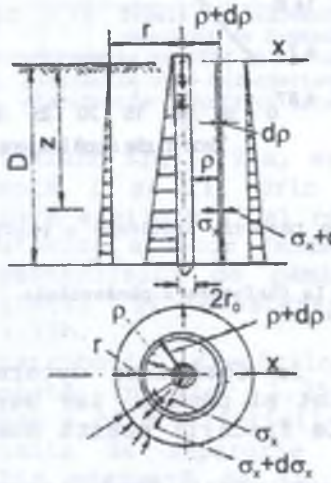


Fig. 1.27. Raza de influenţă r, a pilotu prefabricat

Scriind condiţia de echilibru a eforturilor unitare orizontale, rezultă:

$$\Sigma X = 0$$

$$2\pi\rho.\sigma_x - 2\pi(\rho+d\rho)(\sigma_x+d\sigma_x)=0$$

$$2\pi\rho.\sigma_x-2\pi\rho.\sigma_x-2\pi\rho.d\sigma_x-2\pi d\rho.\sigma_x-2\pi d\rho.d\sigma_x=0$$

$$-\rho d\sigma_x-d\rho.\sigma_x-d\rho d\sigma_x=0$$

Neglijând produsul $d\rho d\sigma_x$, obţinem:

$$-\rho d\sigma_x - d\rho\cdot\sigma_x = 0 \text{ sau } \frac{d\rho}{\rho} = -\frac{d\sigma_x}{\sigma_x} \quad ; \qquad (3).$$

Soluţia ecuaţiei diferenţiale (3) este de forma: $\rho\sigma_x = C$, unde C are semnificaţia unei constante de integrare a cărei valoare rezultă din condiţia de echilibru la limita zonei de influenţă notată „r", între efortul orizontal σ_x şi împingerea pământului în stare de repaus.

Astfel, la limita $r=\rho=a.r_0$ şi adâncimea z, rezultă:

$$\sigma_x=K_0.\gamma.z; \quad (4)$$

$$C=a.r_0.K_0.\gamma.z, \quad (5)$$

iar dacă înaintarea pilotului produce o deplasare orizontală a pământului capabilă a mobiliza împingerea pasivă (p_p) pe faţa laterală a acestuia, se obţine:

$$\left.\begin{aligned}\sigma_x &= p_p\\ \sigma_x &= \frac{C}{\rho}\\ p_p &= K_p\cdot\gamma\cdot z\\ \rho &= r_0\end{aligned}\right| \Rightarrow \frac{a\cdot r_0\cdot K_0\cdot\gamma\cdot z}{r_0}=K_p\cdot\gamma\cdot z \Rightarrow a=\frac{K_p}{K_0}; \quad (6)$$

Dacă se consideră pentru coeficientul împingerii pasive (K_p) şi coeficientul împingerii în stare de repaos (K_0) valoarea 3, respectiv 0,5, se obţine pentru „*a*" mărimea:

$$a \cong 6,$$

de unde $r=a.r_0=6r_0=3d;$ (7)

Pentru procedeele uzuale de introducere în teren a piloţilor prefabricaţi, prin batere, respectiv prin vibrare, corelaţia dintre capacitatea portantă (P) şi tasarea (S) este prezentată în fig. 1.28.

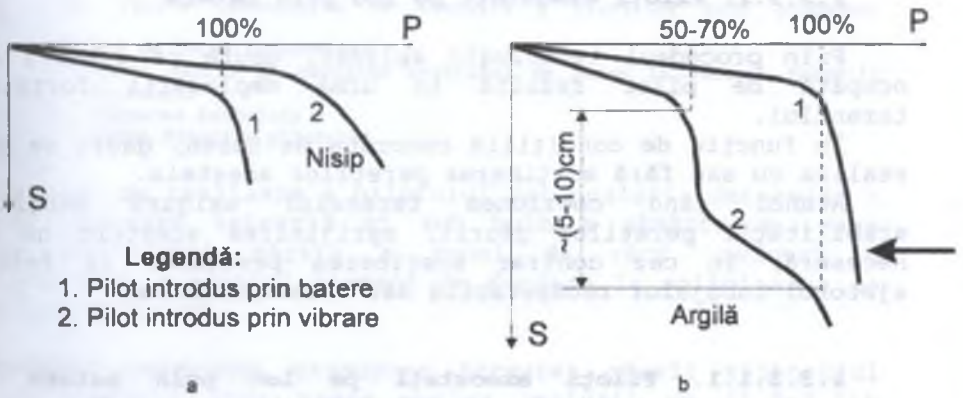


Fig. 1.28. Corelaţia capacitate portantă pilot (P) - tasare teren (S)
a. terenuri nisipoase;
b. terenuri argiloase.

Urmărind fig. 1.28a, se observă că procedeul de introducere în terenuri nisipoase a piloţilor prefabricaţi determină un grad sporit de îndesare a pământului, ceea ce conduce la mărirea distanţei dintre piloţi la cel puţin 3d.

În cazul terenurilor argiloase, fig. 1.28b, vibrarea produce sub vârful pilotului un strat de argilă moale de (5-10)cm grosime, care conduce la reducerea capacităţii portante a pilotului, până la 40%.

Pentru restabilirea capacității portante, se înlocuiește vibrarea prin batere, astfel ca vârful pilotului să depășească zona perturbată prin procedeul vibrării.

1.3.3. Procedee de execuție pe loc a piloților

Procedeul de execuție pe loc a piloților comportă următoarele faze principale de lucru:

- realizarea găurii ce urmează să fie ocupată de pilot;
- introducerea în gaura realizată a carcasei de armătură;
- betonarea găurii realizate printr-un procedeu tehnologic corespunzător condițiilor concrete de teren.

După procedeul tehnologic de realizare a găurii pilotului se disting:

- **piloți executați pe loc prin batere;**
- **piloți executați pe loc prin vibrare și vibropresare;**
- **piloți executați pe loc prin forare.**

1.3.3.1. Piloți executați pe loc prin batere

Prin procedeul tehnologic aplicat, gaura ce urmează a fi ocupată de pilot rezultă în urma deplasării forțate a terenului.

În funcție de condițiile concrete de teren, gaura se poate realiza cu sau fără susținerea pereților acesteia.

Atunci când coeziunea terenului asigură menținerea stabilității pereților găurii, sprijinirea acestora nu este necesară, în caz contrar susținerea pereților se face cu ajutorul tubajelor recuperabile sau nerecuperabile.

1.3.3.1.1. Piloți executați pe loc prin batere fără protecția pereților găurii prin tubaje

Procedeul se aplică în terenuri ce asigură o coeziune suficientă menținerii geometriei găurii până la turnarea betonului în corpul pilotului.

Realizarea piloților prin acest procedeu comportă două faze tehnologice principale:

- realizarea găurii propriu-zise;
- turnarea și compactarea betonului.

Realizarea găurii propriu-zise se poate face prin **ștanțare** sau prin **procedeul Compresol.**

Procedeul ştanţării constă în realizarea găurii viitorului pilot cu ajutorul unei greutăţi (mai) de (3,5-4)t_f, având forma tronconică şi care este lăsată să cadă liber de la înălţimea de (6-7)m.

Maiul de formă tronconică fig. 1.29, culisează în lungul unei lumânări ce echipează utilajul de ridicare.

Gaura obţinută în urma ştanţării are forma maiului tronconic, iar după realizarea acesteia se toarnă beton vârtos sau pietriş pe o înălţime de (0,6-1,2)m, compactat prin batere cu ajutorul aceleiaşi greutăţi.

Rezultă astfel în urma loviturilor aplicate forma de bulb a vârfului pilotului, fig. 1.29.

În continuare se toarnă beton în straturi succesive până la umplerea găurii, fiecare strat fiind compactat cu maiul tronconic prin aplicare de lovituri repetate.

Piloţii rezultaţi au lungimi reduse, iar forma conică a acestora le conferă şi denumirea de **piconi**.

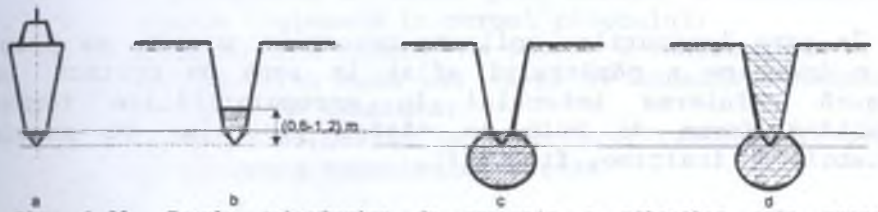


Fig. 1.29. Fazele tehnologice de execuţie a piloţilor prin procedeul ştanţării.

a. mai de formă tronconică;
b. forma găurii şi turnarea stratului de beton în vederea formării bulbului;
c. formarea bulbului;
d. forma finală a pilotului.

Procedeul de realizare a pilotului (piconului), determină o stare de îndesare laterală şi sub bulb a pământului, care asociată suprafeţei mărite a zonei de vârf, asigură o comportare bună a acestui element de fundare la solicitarea de compresiune centrică.

Procedeul Compresol presupune formarea găurii viitorului pilot cu ajutorul unor piese conice (maiuri) de (1,5-2,5)t greutate, fig. 1.30a, lăsate să cadă în mod repetat de la înălţimea de (10-15)m.

Dirijarea greutăţii (maiului), fig. 1.31a se face cu ajutorul utilajului de ridicare, rezultând în urma loviturilor aplicate găuri în teren având diametrul de aproximativ 80cm şi adâncimea maximă de (5-6)m.

După formarea găurii se toarnă în straturi de cca. 0,50m grosime beton de consistenţă vârtoasă, care se compactează prin aplicare de lovituri cu ajutorul unor maiuri având forma din fig. 1.30b, c.

Fig. 1.30. Tipuri de maiuri folosite la realizarea piloţilor
a. mai utilizat pentru realizarea găurii;
b,c. maiuri utilizate la compactarea betonului.

În urma loviturilor aplicate betonului turnat, se produce şi o îndesare a pământului aflat în zona de contact, care asigură refularea betonului în neregularităţile formate, rezultând forma de bulb la vârful pilotului şi secţiune variabilă pe înălţime, fig. 1.31.

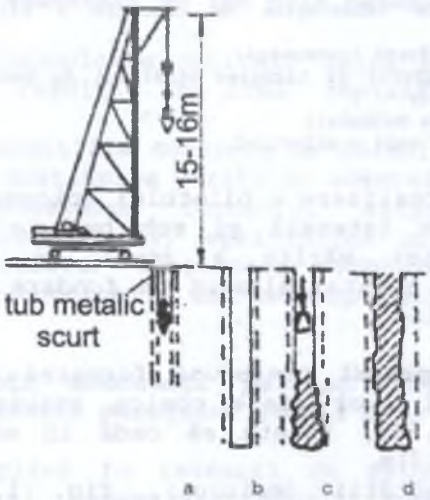


Fig. 1.31. Fazele tehnologice de execuţie a piloţilor prin procedeul Compresol
a. utilaj folosit pentru dirijarea maiului;
b. gaură formată;
c. turnarea şi compactarea betonului;
d. formă finală pilot.

Datorită trepidaţiilor prcduse la formarea găurii şi compactarea betonului acest procedeu de realizare a piloţilor nu poate fi aplicat în apropierea clădirilor existente.

De asemenea, procedeul nu se aplică în cazul piloţilor realizaţi sub nivelul apei sau în pământuri puternic coezive.

În cazul terenurilor cu infiltraţii reduse de apă, pătrunderea apei în gaura formată poate fi stopată prin impermeabilizarea pereţilor cu un strat de argilă moale.

Stratul impermeabilizant rezultă în urma aplicării de lovituri cu maiul de formă conică asupra argilei moi introdusă în gaură.

Procedeul Compresol dă rezultate bune în cazul pământurilor de mâl şi nisipoase slab coezive.

1.3.3.1.2. Piloţi executaţi pe loc prin batere, cu tubaj pierdut

Fazele tehnologice principale de realizare a piloţilor de acest tip pot fi sistematizate în următoarele:

- introducerea în teren prin batere, a tubulaturii ce rămâne înglobată în corpul pilotului;
- îndepărtarea capului de batere a tubulaturii;
- introducerea după caz (dacă se consideră necesar) a carcasei de armătură;
- turnarea betonului în interiorul tubulaturii printr-un procedeu tehnologic adecvat.

Tubulatura introdusă în teren cu rol de formare şi menţinere a geometriei găurii pilotului, poate fi realizată din tablă subţire prevăzută cu rigidizări, din ţeavă metalică sau din inele prefabricate din beton simplu.

În continuare se prezintă în mod succint tehnologia de realizare pe loc, prin batere a piloţilor, în funcţie de tubulatura utilizată.

Piloţii executaţi pe loc prin batere cu tubaj pierdut din tablă subţire sunt cunoscuţi sub denumirea de **piloţi Raymond** după numele producătorului *„Raymond Concrete Pile Co"*.

După forma secţiunii longitudinale piloţii Raymond pot fi **conici sau cu retrageri**.

Piloţii conici Raymond au cămaşa metalică realizată din tronsoane din tablă subţire cu întăriturii sub formă de spirală, lungimea unui tronson fiind de 1,2 şi 2,4m.

Diametrele tronsoanelor descresc continuu cu 4cm/m, până la lungimea maximă de 11m, unde diametrul la vârf este de 20cm.

Etapele de realizare ale piloţilor conici Raymond sunt ilustrate în fig. 1.32 şi constau din:

- introducerea şi asamblarea tronsoanelor de cămaşă pe o mandrină din oţel de formă tronconică având lungimea egală cu cea a viitorului pilot;
- fixarea cămăşii metalice pe mandrină prin lărgirea acesteia din urmă;
- ataşarea ansamblului mandrină-cămaşă, unei sonete echipate cu un berbec cu simplă sau dublă acţiune ce

aplică lovituri repetate mandrinei prin intermediul capului de batere fig. 1.32a;
- modificarea după generatoare a diametrului mandrinei (prin strângere) şi extragerea acesteia din interiorul cămăşii metalice;
- introducerea după caz a carcasei de armătură şi betonarea interiorului cămăşii metalice, fig. 1.32b.

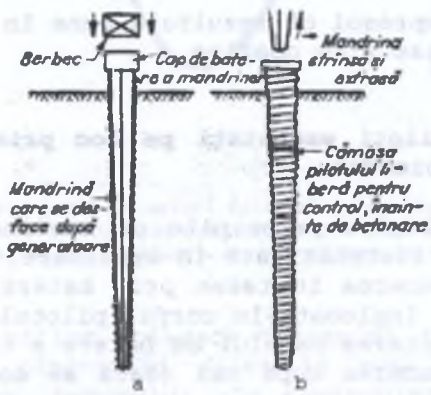


Fig. 1.32. Etapele de realizare ale piloţilor conici Raymond
a. introducerea în teren (prin batere) a ansamblului mandrină-cămaşă;
b. betonarea interiorului cămăşii metalice, după extragerea mandrinei.

Piloţii Raymond cu retrageri în trepte au cămaşă metalică realizată din porţiuni cilindrice în lungime de 1,2m până la 2,4m.

Diametrul cămăşii metalice descreşte cu 2,5cm de la un tronson la altul, ajungându-se astfel la 22cm la vârful pilotului.

Lungimea maximă a piloţilor Raymond cu retrageri în trepte este de 24m, când se înregistrează diametrul de 22cm la vârf şi 44cm la capăt.

Introducerea prin batere în teren a ansamblului mandrină-cămaşă se face printr-o metodă asemănătoare piloţilor conici Raymond.

Betonarea piloţilor Raymond se face în condiţii bune, deoarece îmbinările tronsoanelor cămăşii metalice se face prin înşurubare şi sunt etanşate pentru a împiedica pătrunderea apei în interior.

Cămaşa metalică împiedică prăbuşirea pereţilor datorită umflăturilor rezultate din baterea în grup a piloţilor ce străbat pământuri moi şi îndeplineşte şi rol de armătură, contribuind la preluarea eforturilor de întindere ce apar în corpul pilotului ca urmare a acţiunilor exterioare.

Când sunt necesare fişe lungi ale piloţilor, porţiunea inferioară poate fi constituită din ţeavă metalică, tronsoane din lemn sau beton, ajungându-se astfel în cazul piloţilor Raymond cu retrageri în trepte, până la adâncimi de 45m.

În cazul piloţilor realizaţi pe loc, prin batere, cu tubaj pierdut din ţeavă metalică, etapele de lucru sunt prezentate în fig. 1.33 şi se referă la:

- introducerea în teren prin aplicare de lovituri asupra unei ţevi metalice având diametrul cuprins între (300-400)mm şi echipată cu un vârf prefabricat din beton armat;
- îndepărtarea capului de batere;
- introducerea după caz a carcasei de armătură şi turnarea betonului în interiorul ţevii metalice.

Introducerea în teren a ţevii metalice se face prin aplicarea de lovituri cu ajutorul unui berbec ataşat instalaţiei de batere asupra unei piese de protecţie (cap de batere) aşezate în capul ţevii metalice.

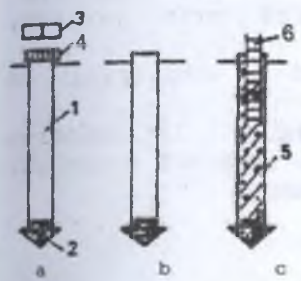


Fig. 1.33. Etapele de realizare a piloţilor cu tubaj pierdut din ţeavă metalică.
a. introducerea în teren, prin batere a ţevii metalice echipată cu vârf din beton armat şi cap de batere:
1 - ţeavă metalică; 2- vârf beton armat; 3 - berbec; 4 - cap de batere;
b. ţeava metalică introdusă la cotă, pregătită pentru armare şi betonare;
c. faza finală pilot:
5 - corp pilot din beton; 6 - carcasă armătură.

Ţeava metalică poate asigura preluarea în întregime a eforturilor unitare de întindere din corpul pilotului, situaţie în care carcasa de armătură se dispune numai în zona superioară cu rol de legătură între pilot şi radier.

În general, piloţii realizaţi cu tubaj metalic nerecuperabil ridică preţul de cost al acestora, motiv pentru care sunt destul de puţin utilizaţi în ţara noastră cu excepţia situaţiilor în care tubajul rezultă prin recuperarea ţevilor metalic.

O variantă mai economică de realizare a piloţilor din această categorie se obţine prin înlocuirea tubajului metalic cu elemente prefabricate din beton.

Piloţii executaţi pe loc prin batere, cu tubaj nerecuperabil realizat din elemente prefabricate din beton armat poartă denumirea de **piloţi West** după numele firmei producătoare *„West's Pilling and Construction Co"* şi constau din inele prefabricate din beton armat îmbinate între ele prin înfiletare pe un suport constituit dintr-o mandrină cilindrică prevăzută la partea inferioară cu un vârf conic din beton prefabricat.

Tronsoanele prefabricate sunt înnădite între ele prin inele metalice, iar pe faţa interioară acestea pot fi bitumate în vederea etanşării rosturilor.

Înaintarea în pământ a ansamblului mandrină-inele prefabricate este asigurată prin aplicarea de lovituri repetate cu ajutorul unui berbec cu cădere liberă atașat instalației de batere.

Loviturile sunt aplicate unui cap de batere echipat cu un bloc amortizor prin care impactul loviturii se transmite direct mandrinei, inelele prefabricate resimțind doar o lovitură amortizată.

Etapele de realizare a piloților cu tubaj pierdut constituit din inele prefabricate de beton armat (cămașa tip West) sunt prezentate în fig. 1.34 și constau din:

- fixarea vârfului conic din beton armat de susținere a mandrinei într-un locaș de înălțime redusă realizat pe locația viitorului pilot, fig. 1.34a;
- introducerea și îmbinarea inelelor prefabricate din beton armat având ca suport mandrina, fig. 1.34a;
- introducerea prin batere a ansamblului mandrină-cămașă beton la cota stabilită prin proiect, fig. 1.34b;
- extragerea mandrinei și eventual a surplusului de inele;
- verificarea interiorului cămășii, introducerea eventualei carcase de armătură și turnarea betonului printr-un procedeu tehnologic adecvat.

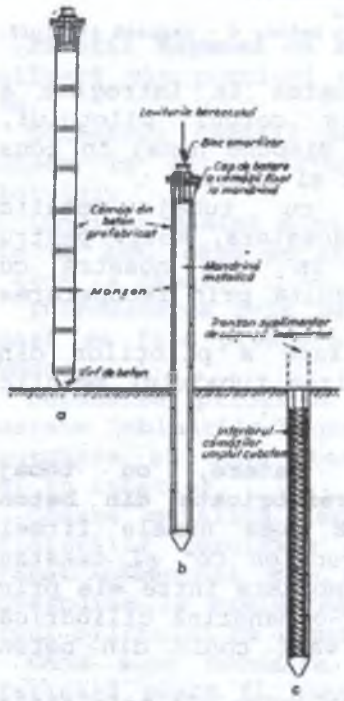


Fig. 1.34. Fazele tehnologice de realizare a piloților West.
a. pregătirea ansamblului mandrină-cămașă beton;
b. introducerea în teren prin batere a ansamblului mandrină-cămașă beton;
c. faza finală a pilotului West.

Piloții tip West prezintă o serie de avantaje legate de:

- posibilităţi de reglare a lungimii pilotului prin adăugare sau scoatere de inele prefabricate;
- diametrul relativ mare al pilotului asigură frecări laterale, adeziune şi rezistenţă pe vârf ridicate;
- reducerea vibraţiilor terenului în suprafaţă datorită transmiterii loviturilor prin intermediul mandrinei direct vârfului pilotului.

Pe lângă avantajele enumerate, pot exista şi unele neajunsuri legate de:

- posibilitatea înclinării ansamblului mandrină-cămaşă beton atunci când acesta străbate pământuri cu bolovani mari sau orizonturi stâncoase înclinate;
- transmiterea încărcării exterioare numai miezului interior de beton armat, fără aportul inelelor prefabricate, atunci când prinderea între acestea este defectuos realizată;
- posibilitatea separării tronsoanelor din beton datorită efectului umflării pământului dintre piloţi (la introducerea acestora în teren), atunci când nu se respectă o anumită ordine de realizare;
- posibilitatea transmiterii vibraţiilor dezvoltate în timpul baterii în teren a ansamblului mandrină-inele prefabricate, către clădirile învecinate.

Altă variantă de realizare la faţa locului a piloţilor prin batere cu tubaj metalic pierdut o constituie **„piloţii tip Gambia"**.

Aceştia au forma tubulară, iar cămaşa de protecţie este prevăzută cu un vârf de batere din beton puternic armat.

Berbecul cu simplă sau dublă acţiune se deplasează în interiorul cămăşii metalice aplicând loviturile direct vârfului de batere.

Avantajele pe care le prezintă piloţii tip Gambia se referă în principiu la:

- grosimea redusă a pereţilor cămăşii metalice datorită aplicării loviturilor direct asupra vârfului;
- ghidarea cămăşii metalice pe primii metri de pătrundere în teren cu ajutorul unor sonete uşoare.

În cazul adâncimilor mari de batere în argile vârtoase sau nisipuri îndesate, există pericolul apariţiei fisurilor circulare în pereţii cămăşii, ca urmare a forţelor mari de frecare de la partea superioară în timp ce partea inferioară tinde să înainteze în teren sub efectul loviturilor aplicate în vârful de batere.

Acest dezavantaj al piloţilor Gambia recomandă utilizarea lor pe amplasamente acoperite de apă, în prezenţa depozitelor moi sub care este situat stratul portant în care va pătrunde pe o adâncime redusă vârful pilotului.

1.3.3.1.3. Piloţi executaţi pe loc prin batere cu tubaj recuperabil

Realizarea acestei categorii de piloţi constă în principiu în parcurgerea următoarelor faze tehnologice de lucru:

1. poziţionarea utilajului cu coloana de batere pe pichet, asigurându-se verticalitatea şi echiparea corespunzătoare a tubulaturii metalice funcţie de tipul pilotului;
2. introducerea în teren, prin batere, a coloanei metalice până la adâncimea din proiect;
3. pregătirea interiorului coloanei în vederea armării şi turnării betonului;
4. introducerea carcasei de armătură în interiorul coloanei metalice;
5. realizarea corpului pilotului prin betonare concomitent cu extragerea tubulaturii metalice.

După modul de echipare a tubulaturii metalice în vederea formării găurii şi realizării corpului pilotului se disting două categorii importante de piloţi turnaţi pe loc prin batere şi anume:

a. piloţi formaţi prin compactarea betonului turnat în straturi succesive;
b. piloţi formaţi prin compactarea betonului turnat continuu.

În continuare se vor descrie câteva tipuri de piloţi reprezentativi pentru cele două categorii.

a. Din categoria piloţilor formaţi prin compactarea betonului turnat în straturi succesive se va face o descriere tehnologică succintă pentru **piloţii Franki, piloţii Simplex, piloţii Delta, piloţii Holmpress, piloţii Alfa.**

Piloţii Franki sunt cei mai reprezentativi pentru această categorie, sunt realizaţi cu ajutorul sonetelor Franki în următoarele etape de lucru prezentate schematic în fig. 1.35:

1. aducerea în poziţie de lucru a utilajului (soneta Franki), cu fixarea coloanei metalice de batere pe pichet, în poziţie verticală şi formarea (prin turnare) la baza tubului a unei coloane de beton de consistenţă vârtoasă având înălţimea de cca. 1,0m, fig. 1.35a;
2. introducerea în teren a coloanei de batere prin aplicarea de lovituri repetate în dopul de beton cu ajutorul unui berbec metalic ce se deplasează în interiorul coloanei, fig. 1.35b;

3. blocarea înaintării coloanei metalice în momentul când aceasta a ajuns la cota din proiect şi aplicarea de lovituri repetate în dopul de beton până la expulzarea acestuia în teren sub forma unui bulb, fig. 1.35c;
4. introducerea carcasei de armătură în interiorul tubului metalic;
5. turnarea betonului în straturi succesive şi compactarea prin batere a fiecărui strat concomitent cu extragerea coloanei metalice, fig. 1.35d, rezultând în final corpul pilotului, fig. 1.35e.

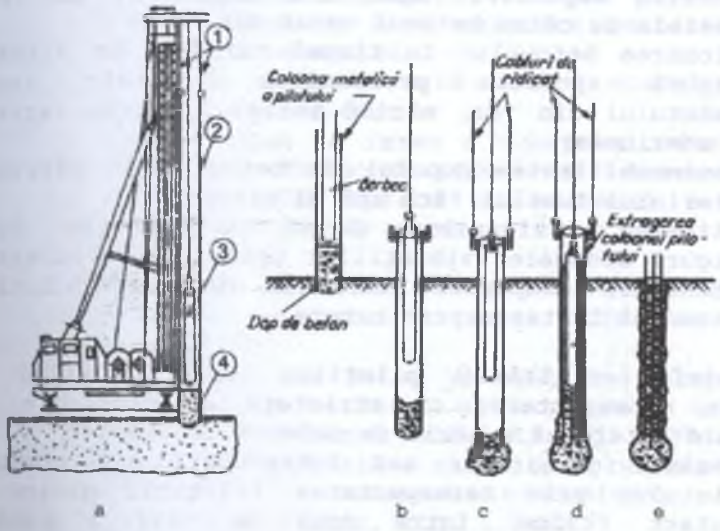


Fig. 1.35. Etapele de realizare a piloţilor Franki
a. aducerea utilajului în poziţia de lucru şi poziţionarea coloanei de batere echipată pe pichet:
1-cabluri de susţinere a coloanei; 2-coloană metalică; 3-berbec; 4-dop din beton uscat;
b. introducerea coloanei de batere în teren;
c. formarea bulbului;
d. introducerea carcasei de armătură şi betonarea în straturi concomitent cu extragerea cămăşii metalice;
e. pilot în fază finală.

Forma rotunjită a vârfului berbecului de batere asigură în urma loviturilor aplicate o creştere a presiunilor laterale asupra cămăşii metalice, fapt ce determină sporirea rezistenţei de frecare între tub şi dopul de beton, respectiv înaintarea coloanei metalice în teren.

Extragerea cămăşii metalice în timpul betonării trebuie făcută astfel încât partea inferioară a acesteia să asigure un contact permanent cu betonul pe o înălţime de cel puţin 30cm, împiedicând astfel pătrunderea apei subterane în interiorul tubajului metalic.

Utilizarea piloţilor Franki la realizarea sistemelor de fundare în adâncime prezintă o serie de avantaje dintre care se enumeră:

- capacitatea portantă sporită la forţe axiale de compresiune şi smulgere;
- asigurarea unor lungimi de realizare a piloţilor de până la (20-22)m;
- creşterea rezistenţei pe vârf atunci când bulbul pilotului se formează în pământ nisipos, datorită îndesării acestuia în lateral şi sub bulb pe o zonă egală cu câteva diametre ale bulbului;
- consolidarea pământului din jurul bulbului atunci când acesta se realizează într-un pământ argilos, datorită expulzării apei din argilă şi absorbţia acesteia de către betonul uscat din bulb;
- pilonarea betonului în timpul turnării în straturi asigură sporirea presiunilor laterale asupra pământului din jur, mărind astfel frecarea laterală şi adeziunea;
- impermeabilitatea dopului de beton uscat păstrează interiorul tubului fără apă şi noroi;
- aplicarea loviturilor direct dopului de beton asigură atenuarea vibraţiilor transmise la suprafaţa terenului, comparativ cu cele datorate piloţilor introduşi în teren prin batere.

Dezavantajele utilizării piloţilor Franki derivă în principal din nerespectarea cu stricteţe a tehnologiei de realizare, care determină o serie de defecte legate de:

- prezenţa gâtuirilor sau întreruperi ale corpului pilotului prin nerespectarea înălţimii minime de contact (≥30cm) între zona de vârf a cămăşii metalice şi betonul turnat;
- prezenţa golurilor şi a incluziunilor de pământ, ori spălarea betonului de către apele subterane la formarea bulbului;
- producerea unor fisuri în betonul neîntărit din corpul pilotului ca urmare a tendinţei de umflare a unor argile saturate;
- producerea unor gâtuiri ale secţiunii pilotului proaspăt turnat datorită împingerii pământurilor slabe;
- afuierea pereţilor găurii, spălarea cimentului din betonul neîntărit şi reducerea diametrului pilotului în prezenţa apelor sub presiune.

O atenţie deosebită trebuie acordată stabilirii distanţei dintre piloţii grupei, deoarece rezistenţa betonului parţial întărit din piloţii turnaţi anterior poate fi slăbită prin umflarea sau deplasarea laterală a terenului ca urmare a realizării piloţilor vecini.

Piloţii Simplex şi Delta se realizează prin baterea în teren a unei coloane metalice echipată cu un vârf detaşabil din fontă, urmată de introducerea carcasei de armătură,

turnarea betonului în straturi compactate prin batere şi extragerea treptată a tubajului metalic.

Piloţii Holmpress se realizează prin introducerea în teren, prin batere, a coloanei metalice cu un vârf din fontă detaşabil, montarea carcasei de armătură şi realizarea integrală a coloanei de beton în interiorul cămăşii metalice urmată de operaţia de **rebatere** în interiorul primei coloane, înainte de realizarea prizei betonului turnat, a unui tub cu diametru mic, în timp ce se retrage tubajul metalic exterior.

Pentru rebatere se poate folosi un tronson de beton prefabricat ce rămâne înglobat în corpul pilotului, asigurând obţinerea unui beton de bună calitate rezistent la posibila acţiune agresivă a terenului.

Piloţii Alfa se realizează urmând etapele de lucru din fig. 1.36, care constau din:

a. introducerea în teren a tubajului metalic echipat cu vârf din fontă detaşabil şi carcasa de armătură montată, prin batere cu berbecul asupra mandrinei umplute cu beton ce se află în interiorul tubajului, fig. 1.36a;
b. ridicarea mandrinei de pe vârful de fontă asigurând umplerea cu beton a zonei inferioare a tubajului, fig. 1.36b;
c. reumplerea cu beton a mandrinei urmată de baterea acesteia cu berbecul şi extragerea tubului metalic, asigurând formarea bulbului, fig. 1.36c;
d. ridicarea parţială a mandrinei, reumplerea cu beton şi baterea cu berbecul concomitent cu extragerea tubajului metalic, fig. 1.36d.

Operaţia „d" se repetă până când cămaşa metalică exterioară şi mandrina sunt complet extrase din teren, iar corpul pilotului este integral realizat.

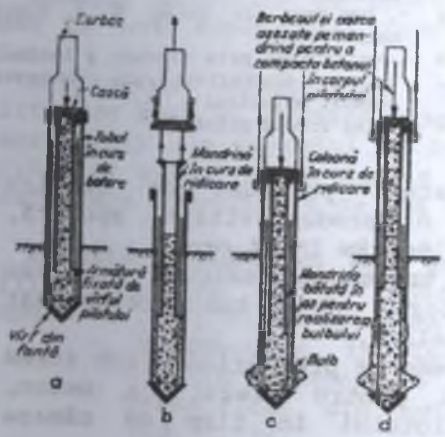


Fig. 1.36. Etapele de realizare a piloţilor Alfa.

b. Din categoria piloţilor formaţi prin compactarea betonului turnat continuu se disting **piloţii realizaţi cu instalaţia I.P.C., piloţii realizaţi din inele tronsonate** şi **piloţii Western**, a căror descriere succintă este redată în continuare.

Piloţii realizaţi cu instalaţia I.P.C. comportă etapele de lucru prezentate în fig. 1.37 ce constau în:

- aducerea pe poziţia de lucru a utilajului de batere şi fixarea pe locaţia din proiect a tubului metalic echipat cu o placă metalică la vârf şi un capac de protecţie pe capătul superior;
- introducerea în teren a tubului metalic prin aplicarea de lovituri cu ajutorul unui berbec de batere ce echipează instalaţia de batere, fig. 1.37a;
- montarea carcasei de armătură în interiorul tubului metalic după atingerea cotei din proiect, fig. 1.37b;
- umplerea integrală cu beton a interiorului tubulaturii metalice echipate cu carcasa de armătură, fig. 1.37c;
- compactarea prin vibrare a betonului turnat concomitent cu extragerea cămăşii metalice, fig. 1.37d.

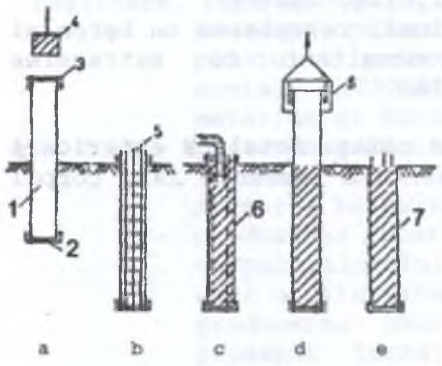


Fig. 1.37. Etapele de realizare a piloţilor prin batere, cu tubaj recuperabil şi beton turnat continuu.
a - introducerea în teren prin batere cu berbecul ④, a tubului metalic ①, echipat cu placa metalică rigidă nerecuperabilă ②, şi capacul de protecţie ③;
b - echiparea cu carcasa de armătură ⑤ a tubului metalic ajuns la cota din proiect;
c - umplerea cu beton ⑥ a tubului metalic;
d - compactarea prin vibrare a betonului turnat concomitent cu extragerea cămăşii metalice;
e - forma finală pilot ⑦.

Realizarea piloţilor prin acest procedeu de turnare continuă a betonului asigură o productivitate sporită, ajungând până la 10 piloţi de lungime 28m în 24 ore.

Piloţii realizaţi din inele tronsonate asigură turnarea continuă a betonului în interiorul unui tub prefabricat introdus în interiorul cămăşii metalice.

Tubul interior realizat din elemente prefabricate sub formă de inele va constitui cofrajul pentru miezul de beton, rămânând înglobat în corpul pilotului în timp ce cămaşa metalică exterioară se recuperează.

În fig. 1.38b sunt prezentate schematic fazele tehnologice de realizare a piloţilor prin acest procedeu de lucru, ce constau în:

- introducerea în teren prin batere sau vibrare a tubului metalic echipat la capătul inferior cu un vârf prefabricat din beton armat, fig. 1.38b_1;
- introducerea în interiorul tubului metalic ajuns la cotă a unor inele prefabricate, fig. 1.38b_2;
- introducerea carcasei de armătură în interiorul tubului prefabricat, fig. 1.38b_3;
- umplerea cu beton, prin turnare continuă, a tubajului prefabricat echipat cu carcasa de armătură, fig. 1.38b_4;
- extragerea cămăşii metalice exterioare şi umplerea spaţiului rămas cu un beton de consistenţă fluidă, fig. 1.38b_5.

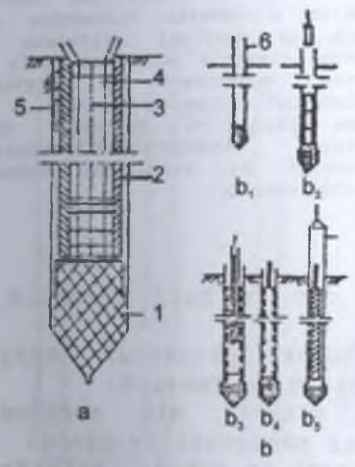


Fig. 1.38. Piloţi realizaţi prin batere, cu inele tronsonate şi turnarea continuă a betonului.
a. secţiune longitudinală prin pilot:
1. vârf prefabricat din beton armat; 2. inele prefabricate; 3. carcasă din armătură; 4. miez din beton turnat continuu; 5. beton fluid turnat după extragerea cămăşii metalice;
b. etape de execuţie a piloţilor:
b_1 - introducerea prin batere a tubului metalic ® echipat cu vârf prefabricat din beton armat;
b_2 - introducerea inelelor prefabricate în interiorul tubului metalic ajuns la cotă;
b_3 - introducerea carcasei de armătură în interiorul tubului prefabricat;
b_4 - turnarea continuă a betonului în interiorul tubului prefabricat;
b_5 - extragerea tubului metalic ® şi reumplerea cu beton fluid a spaţiului rămas.

Armarea piloţilor se poate realiza pe toată lungimea sau numai în zona superioară, funcţie de natura solicitărilor din pilot.

Utilizarea elementelor prefabricate asigură condiţii calitative bune de turnare a betonului, împiedică deformaţiile transversale ale miezului de beton şi sporesc productivitatea lucrărilor astfel încât durata de execuţie a acestor tipuri de piloţi este comparabilă cu cea a piloţilor prefabricaţi.

Piloţii Western cu dop de bază au un domeniu larg de utilizare în SUA, Mexic, Canada, se realizează relativ uşor, etapele de lucru fiind prezentate în fig. 1.39 şi constau din:

- introducerea în teren, prin batere, a tubului metalic echipat la partea inferioară cu un vârf prefabricat din beton armat de 43 cm diametru, fig. 1.39a;
- introducerea în interiorul tubului metalic ajuns la cotă a unei cămăşi interioare de formă cilindrică

realizată din tablă subţire prevăzută cu caneluri în spirală care se prinde cu ajutorul unui ştift de partea superioară a vârfului prefabricat, fig. 1.39b;
- introducerea după caz a carcasei de armătură în interiorul cilindrului de tablă;
- umplerea integrală cu beton a cilindrului interior de tablă, vibrarea betonului şi extragerea tubului metalic exterior.

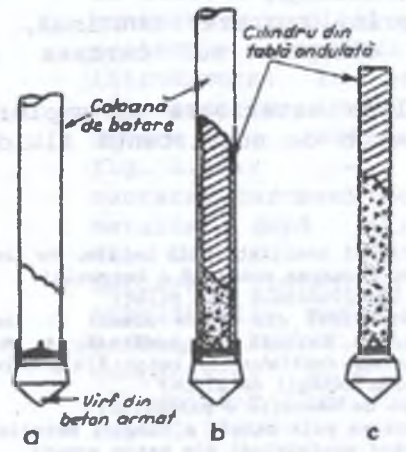


Fig. 1.39. Etapele de realizare a piloţilor Western cu dop de bază.
a. introducerea în teren prin batere a tubului metalic echipat la partea inferioară cu un vârf prefabricat din beton armat;
b. introducerea în interiorul tubului metalic a cămăşii cilindrice din tablă cu caneluri spiralate şi fixarea acesteia printr-un ştift de partea superioară a vârfului prefabricat din beton armat;
c. forma finală a pilotului după montarea armăturii, turnarea betonului şi extragerea tubului metalic exterior.

Utilizarea piloţilor Western cu dop de bază prezintă o serie de avantaje şi dezavantaje.

Dintre avantajele principale datorate prezenţei cămăşii cilindrice din tablă cu caneluri spiralate se remarcă:
- evitarea producerii unor gâtuiri ale secţiunii pilotului datorate împingerii pământurilor slabe;
- evitarea producerii unor fisuri în betonul neîntărit din corpul pilotului datorate, tendinţei de umflare a argilelor saturate;
- protejarea piloţilor lucrând în grup împotriva ruperii datorate umflării pământului ca urmare a realizării piloţilor vecini;
- creşterea frecării laterale pe pilot ca urmare a prezenţei canelurilor spiralate.

Dezavantajele utilizării acestui tip de piloţi constau în general în reducerea frecărilor laterale şi a adeziunii pe suprafaţa exterioară a pilotului când acesta străbate orizonturi de argile vârtoase sau nisipuri îndesate datorită golului rămas în urma extragerii tubului metalic de batere.

Datorită acestor neajunsuri piloţii Western cu dop de bază trebuie consideraţi ca piloţi purtători pe vârf.

Piloţii Western cu bulb se realizează conform fig. 1.40 în următoarele etape de lucru:

- introducerea în teren, prin batere, a tubului metalic echipat la partea inferioară cu un vârf prefabricat din beton armat, fig. 1.40a;
- introducerea în tubul ajuns la cotă a unei cantităţi de beton şi aşezarea la suprafaţa acestuia a unui miez solid, fig. 1.40b;
- ridicarea pe o înălţime mică a tubului metalic urmată de aplicarea de lovituri în miezul solid rezultând o porţiune lărgită deasupra şi în jurul vârfului pierdut, fig. 1.40c;
- aplicarea de lovituri repetate asupra miezului solid şi a tubului metalic rezultând astfel îndesarea bulbului format, fig. 1.40d;
- turnarea betonului în interiorul tubului metalic urmată de extragerea acestuia, menţinând deasupra coloanei de beton formată a miezului solid pentru a împiedica ridicarea betonului în tub.

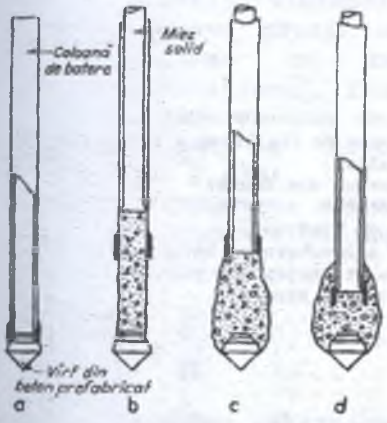


Fig. 1.40. Etapele de execuţie a piloţilor Western cu bulb.

a. introducerea în teren prin batere a tubului metalic echipat la partea inferioară cu un vârf prefabricat din beton armat;
b. turnarea unei cantităţi de beton în interiorul tubului metalic ajuns la cotă, urmată de ridicarea parţială a tubului şi aşezarea la partea superioară a betonului turnat a unui miez solid;
c. baterea miezului solid şi formarea porţiunii lărgite deasupra şi în jurul vârfului pilotului;
d. baterea miezului solid şi a tubului metalic pentru îndesarea bulbului format.

Piloţii Western cu bulb prezintă avantajele piloţilor Western cu dop la bază, la care se adaugă cele datorate prezenţei bulbului şi a contactului bun între corpul pilotului şi pământ.

1.3.3.2. Piloţi executaţi pe loc prin vibrare şi vibropresare

Execuţia acestor categorii de piloţi implică utilizarea tehnicii vibraţiilor atât pentru introducerea în teren a tubulaturii în vederea formării găurii cât şi pentru extragerea acesteia şi formarea corpului pilotului.

Fac parte din această categorie: vibropiloţii, piloţii vibroformaţi, piloţii turnaţi pe loc prin vibropresare şi piloţii tip V.U.I.S.

Vibropiloţii se realizează în urma parcurgerii următoarelor etape de lucru, conform fig. 1.41:

- introducerea în teren cu ajutorul unui vibrociocan de (20-40)kN ataşat tubului metalic prevăzut cu un vârf pierdut din fontă şi cască de protecţie, fig. 1.41a;
- îndepărtarea vibrociocanului şi a căştii de protecţie în vederea introducerii carcasei de armătură, fig. 1.41b;
- reataşarea echipamentului demontat în faza anterioară şi umplerea cu beton a tubului prin gura de alimentare prevăzută în zona superioară a acestuia;
- extragerea tubului prin lovituri alternante în sus şi în jos aplicate cu berbecul şi completarea cu beton prin gura de alimentare rezultând astfel un pilot bine compactat cu aderenţă sporită la teren, fig. 1.41c,d.

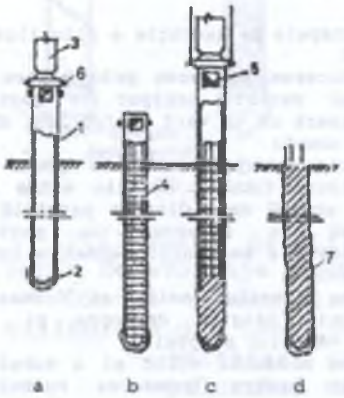


Fig. 1.41. Etapele de realizare a vibropiloţilor.
1-tub metalic;
2-vârf pierdut din fontă;
3-vibrociocan;
4-carcasă de armătură;
5-gura de alimentare cu beton;
6-cască de protecţie cap pilot;
7-pilot în faza finală.

Extragerea tubului metalic şi compactarea coloanei de beton sunt reprezentate sugestiv în fig. 1.42.

Carcasa coloanei în timpul bate-rii în jos, cînd betonul este împins spre pămînt
Ridicarea coloanei în timpul baterii în sus
Largirea coloanei

Fig. 1.42. Extragerea coloanei şi compactarea betonului.

La aplicarea loviturii în sus tubul este ridicat pe o distanţă mică determinând curgerea betonului din tub şi mularea pe pereţii găurii.

La aplicarea loviturii în jos, masa de beton conţinută în tub este antrenată în sensul deplasării tubului compactând betonul situat sub tub forţându-l la un contact bun cu pământul.

Loviturile aplicate tubului se succed rapid, menţinând betonul „viu", evitând astfel antrenarea acestuia şi a armăturii de către tub.

Vibropiloţii se execută cu diametrul de 33cm, 42cm şi 53cm, asigurând sarcini de serviciu până la 400 kN pentru primul caz,, până la 600kN pentru cazul al doilea, respectiv peste 1000kN pentru ultimul caz.

Piloţii vibroformaţi se realizează în următoarele etape de lucru, fig. 1.43:

- aşezarea pe poziţia viitorului pilot a unui buncăr prevăzut la bază cu un orificiu, care se umple cu beton pentru formarea corpului, fig. 1.43a;
- poziţionarea pe orificiul de la baza buncărului a ansamblului de formare a găurii constituit din vârf-tijă-vibrator, fig. 1.43b;
- formarea găurii cu ansamblul vârf-tijă-vibrator şi umplerea cu beton a acesteia prin efect gravitaţional, fig. 1.43c;
- extragerea din coloana de beton ajunsă la cota din proiect a tijei şi vârfului de penetrare, fig. 1.43d;
- introducerea manuală la partea superioară a carcasei de armătură şi umplerea completă cu beton a găurii, fig. 1.43e.

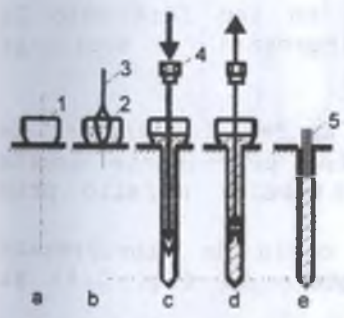


Fig. 1.43. Etapele de realizare a piloţilor vibroformataţi.
a. aşezarea buncărului ① cu beton pe poziţie;
b. poziţionarea pe orificiul buncărului a ansamblului de penetrare, compus din: vârf ② - tijă ③ - vibrator ④;
c. formarea găurii şi umplerea gravitaţională cu beton;
d. extragerea din coloana de beton formată a tijei şi vârfului de penetrare;
e. montarea prin înfigere manuală a carcasei de armătură ⑤.

Introducerea în teren a vârfului ② se face sub efectul vibraţiilor produse de vibratorul ④.

Vârful de penetrare ② este realizat dintr-un tronson de ţeavă cu două clapete ce stau în poziţie închisă la pătrundere în teren şi se deschid sub greutatea betonului la extragere.

Legătura de prindere a tijei ③ de vârful ② se face cu ajutorul unor diafragme dispuse radial.

Piloţii vibropresaţi se realizează în două etape principale:

- formarea găurii;
- formarea corpului pilotului.

Formarea găurii rezultă în urma înfigerii în teren a unui tub metalic echipat corespunzător (fig. 1.44) pentru:

- penetrarea pământului;
- alimentarea şi presarea betonului;
- fixarea mecanismelor de vibropresare.

Înaintarea în teren a tubului metalic astfel echipat, fig. 1.44a se datorează efectului de vibrare-presare produs de vibromecanismele tip AVP1, VVPS 20/11 montate în prealabil.

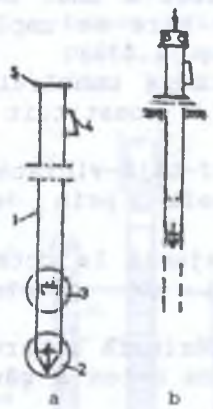


Fig. 1.44. Fazele de formare a găurii prin vibropresare.
a. tubulatura metalică echipată pentru lansare:
1-tubulatură metalică; 2-clapetă vârf; 3-clapet interioară; 4-orificiu pentru alimentare cu beton; 5-suport dispozitiv pentru vibropresare.
b. introducerea în teren prin vibropresare a tubulaturii metalice.

Corpul pilotului poate fi realizat cu sau fără bulb la nivelul vârfului şi cu sau fără îngroşări a secţiunii transversale în lungul fişei.

Formarea corpului pilotului constă astfel din cicluri de vibrare-presare pentru realizarea acestor proeminenţe urmate de cicluri de extragere din teren a tubului metalic prin vibrare.

Fazele de lucru ce compun primul ciclu de vibropresare pentru realizarea bulbului sunt prezentate în fig. 1.45 şi constau în:

- umplerea tubulaturii metalice ① cu beton pe aproximativ 1/3 din înălţime, fig. 1.45a;
- ridicarea parţială a tubului metalic cu vibratorul în funcţiune, asigurând astfel deschiderea vârfului ②, fig. 1.45b;
- coborârea prin vibropresare a tubului metalic, închiderea clapetelor interioare ③ şi ulterior a vârfului ②, favorizând astfel formarea bulbului prin refularea laterală a betonului, fig. 1.45c.

Mărimea bulbului se realizează printr-un nou ciclu de vibropresare completarea cu beton şi oprirea vârfului tubulaturii metalice la o cotă superioară celei din ciclul anterior.

După formarea bulbului sau a proeminenţelor secţiunii transversale urmează ciclurile de extragere-vibrare care constau în:

- umplerea completă a tubulaturii cu beton, urmată de extragerea sa cu vibratorul în funcţiune în timp ce betonul se scurge din tub prin deschiderea vârfului şi a clapetelor intermediare sub efectul vibraţiilor, fig. 1.45d;
- extragerea completă a tubulaturii metalice şi introducerea carcasei de armături ce va asigura legătura pilot-radier, fig. 1.45e.

Presarea betonului ce formează corpul pilotului este asigurată prin efectul vibraţiilor produse le extragerea tubului.

Dacă armătura străbate întreaga fişă a pilotului, carcasa se introduce după ciclul de formare a bulbului.

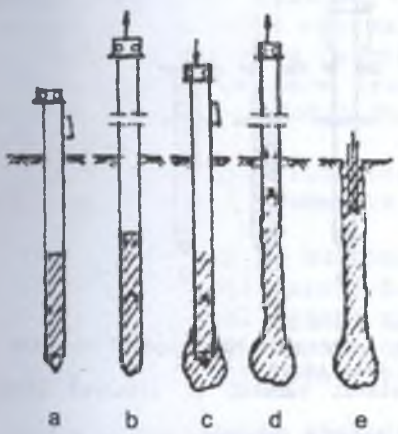


Fig. 1.45. Fazele de realizare a corpului pilotului.

a. umplerea cu beton a tubulaturii pe aproximativ 1/3 din înălţime;
b. extragerea parţială a tubulaturii;
c. coborârea prin vibropresare a tubulaturii cu închiderea clapetelor interioare ② şi ulterior a vârfului ①, refularea betonului şi formarea bulbului;
d. umplerea cu beton a tubulaturii urmată de extragerea sa prin vibrare;
e. introducerea carcasei de armătură în betonul proaspăt.

Piloţii tip V.U.I.S. rezultă prin combinarea efectului vibraţiilor cu cel al aerului comprimat.

Etapele realizării piloţilor de acest tip constau în **formarea găurii** şi **formarea corpului pilotului.**

Gaura pentru viitorul pilot se realizează prin introducerea tubului metalic echipat corespunzător în teren, parţial prin carotare şi continuând până la cota finală prin înfigere.

Formarea găurii pilotului presupune parcurgerea unui ciclu de lucru compus din:

- introducerea parţială în teren a tubului metalic sub efectul vibrării, fig. 1.46a;

- extragerea tubului, fig. 1.46b şi golirea acestuia de pământ cu ajutorul aerului comprimat, fig. 1.46c;
- echiparea capătului inferior al tubului metalic cu un vârf nerecuperabil şi continuarea introducerii în teren a tubajului astfel echipat sub efectul vibraţiilor, până la atingerea fişei pilotului, fig. 1.46d,e;
- umplerea cu beton a tubului metalic şi a rezervorului, urmată de extragere prin vibrare a tubajului, astfel încât betonul umple golul rămas sub efectul combinat al presiunii şi vibrării, fig. 1.46f;
- înfigerea carcasei de armătură în betonul proaspăt din corpul pilotului, fig. 1.46g.

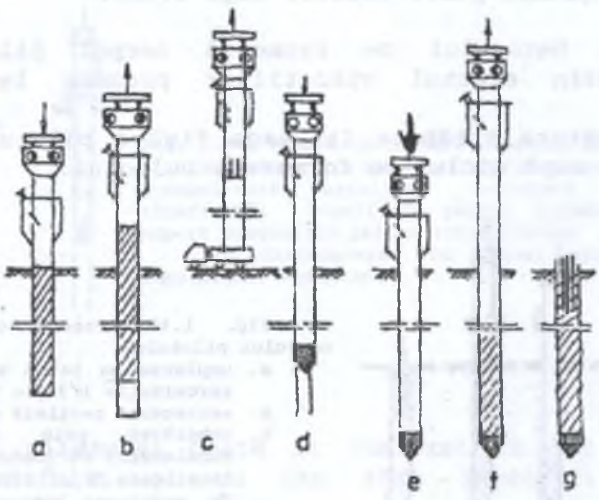


Fig. 1.46. Etapele de realizare a piloţilor V.U.I.S.
a. introducerea parţială în teren, prin carotare a tubului metalic;
b. extragerea din teren a tubului metalic;
c. golirea pământului din interiorul tubului cu ajutorul aerului comprimat;
d, e. continuarea introducerii în teren a tubajului metalic echipat cu vârf nerecuperabil, până la atingerea cotei din proiect;
f. umplerea cu beton a tubului metalic şi a rezervorului, urmată de extragerea tubulaturii concomitent cu formarea corpului pilotului;
g. înfigerea carcasei de armătură în betonul proaspăt.

1.3.3.3. Piloţi executaţi pe loc prin forare

Piloţii din această categorie rezultă în urma formării găurii prin unul din următoarele procedee:
- forare rotativă;
- forare prin percuţie sau cu instalaţii de săpare cu graifăr.

Procedeul de forare se alege în funcţie de diametrul şi fişa pilotului, natura şi mărimea solicitării,

caracteristicile geotehnice ale terenului, nivelul apelor subterane, etc.

În cazul piloţilor simpli, cu diametru şi încărcări reduse ce străbat orizonturi de pământuri argiloase, prafuri consistente şi vârtoase, nisipuri coezive sau pietrişuri argiloase situate deasupra nivelului apelor subterane, se utilizează procedeul manual de forare rotativă.

Forarea manuală rotativă se realizează netubat, cu ajutorul unui burghiu sau linguri, iar golul rezultat se umple cu beton simplu.

Piloţii realizaţi prin acest procedeu nu se armează, cu excepţia unor bare de legătură între corpul pilotului şi radier sau grinda de solidarizare.

Din raţiuni economice, forarea rotativă manuală este limitată la piloţi cu adâncimi mai mici de 4,5m şi diametrul sub 35cm.

Categoria cea mai răspândită de piloţi din cadrul acestei grupe este ocupată de **piloţii de diametru mare**, pentru care se utilizează la formarea găurii instalaţiile de forare rotativă mecanică, prin percuţie sau cu graifăr.

În accepţiunea STAS-ului 2561/4-90, **„piloţii foraţi de diametru mare** sunt piloţii realizaţi prin forarea unei găuri cu diametrul de 600mm sau mai mare, introducerea unei carcase de armătură şi umplerea cu beton".

După efectul pe care procedeul de execuţie îl are asupra terenului din jur, piloţii foraţi de diametru mare sunt piloţi de dislocuire.

Clasificarea piloţilor foraţi de diametru mare se face după o serie de criterii enumerate în continuare, astfel:

- după modul de susţinere a pereţilor găurilor:
  - piloţi foraţi în uscat şi netubaţi;
  - piloţi foraţi sub protecţia noroiului bentonitic;
  - piloţi foraţi cu tubaj recuperabil;
  - piloţi foraţi cu tubaj nerecuperabil.

- după variaţia secţiunii transversale:
  - piloţi cu secţiunea transversală constantă;
  - piloţi cu secţiunea transversală variabilă, respectiv:
    - cu evazare la bază;
    - cu evazări multiple.

- după modul de transmitere a încărcărilor axiale la teren:
  - piloţi purtători pe vârf;
  - piloţi flotanţi.

- după poziţia axei pilotului:
  - piloţi verticali;
  - piloţi înclinaţi.

Utilizarea piloţilor foraţi de diametru mare este recomandată în cazul fundaţiilor ce transmit terenului încărcări axiale şi transversale mari şi atunci când vârful pilotului pătrunde într-un strat practic incompresibil (piloţi purtători pe vârf).

În cazul amplasamentelor pe care nu se întâlneşte până la adâncimea de realizare a piloţilor, un strat de pământ incompresibil sau prezenţa diferitelor obstacole împiedică introducerea la cotă a piloţilor de îndesare, se pot utiliza piloţii flotanţi de diametru mare.

Pe terenuri susceptibile la alunecare se recomandă utilizarea piloţilor foraţi de diametru mare cu tubaj nerecuperabil, iar în cazul radierelor înalte supuse la solicitări orizontale importante se prevăd piloţi foraţi de diametru mare dispuşi înclinat.

Capacitatea portantă sporită a piloţilor foraţi comparativ cu cea a piloţilor realizaţi prin alte procedee este asigurată de performanţele ridicate ale instalaţiilor specializate de forare, care permit obţinerea unor piloţi de lungimi şi diametre mari precum şi evazări ale bazei şi în lungul fişei.

1.3.3.3.1. Piloţi foraţi în uscat şi netubaţi

Procedeul de realizare a piloţilor de acest tip constă în formarea găurilor în pământuri suficient de coezive pentru a asigura stabilitatea pereţilor săpăturii până la turnarea betonului.

Forarea se execută deasupra nivelului apelor subterane, cu ajutorul instalaţiilor utilizate la cercetarea şi prospectarea terenului (cu performanţe reduse) sau cu instalaţii specializate pentru foraje de diametru mare, de tip Salzgitter şi Calweld.

Schemele de principiu ale acestor instalaţii sunt prezentate în fig. 1.47a, 1.47b.

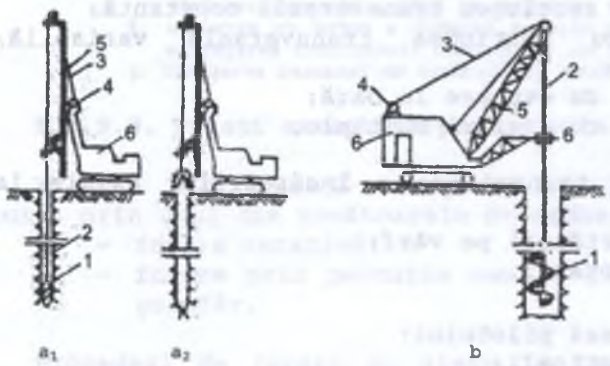


Fig. 1.47. Instalaţie de forare rotativă.
a. Instalaţia Salzgitter:
1-sapă; 2-tijă; 3-cablu;
4-troliu; 5-lumânare;
6-excavator
a_1 - ciclul I - forare;
a_2 - ciclul II - evacuare pământ;
b. Instalaţie Calweld
1-sapă; 2-tijă; 3-cablu;
4-troliu; 5-braţ cu zăbrele;
6-macara.

Etapele principale de realizare a piloţilor prin foraj rotativ sunt prezentate în fig. 1.48 şi constau în:

- forarea găurii, fig. 1.48a;
- lărgirea bazei găurii de foraj, fig. 1.48b;
- introducerea carcasei de armătură în gaura de foraj, fig. 1.48c;
- formarea corpului pilotului prin betonare, fig. 1.48d.

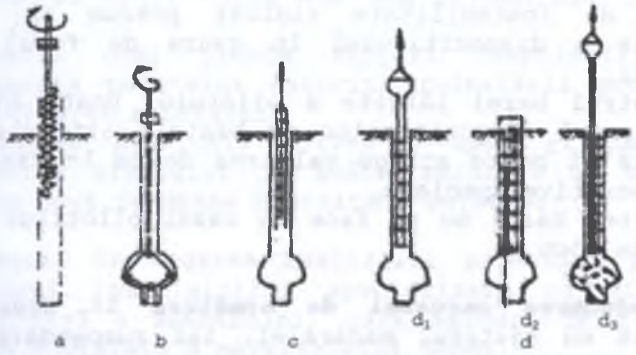


Fig. 1.48. Etapele de realizare a piloţilor foraţi în uscat şi netubaţi.
a. forarea găurii; b. lărgirea bazei pilotului; c. introducerea carcasei de armături; d. formarea corpului pilotului prin: d_1-betonare cu ajutorul pâlniei cu hoboţi; d_2-betonare cu ajutorul pompei de beton; d_3-ridicarea pâlniei sau furtunul pompei de beton pe măsură ce coloana de beton creşte.

Forarea găurii se realizează cu instalaţii specializate a căror alcătuire de principiu este prezentată în fig. 1.47.

Lărgirea bazei găurii se realizează cu ajutorul unui dispozitiv special (chiblă) rotit prin intermediul tijelor sau prăjinilor de foraj.

Există două tipuri de dispozitive folosite la lărgirea bazei pilotului:

- cu braţele articulate la partea superioară, fig. 1.49a;
- cu braţele articulate la partea inferioară, fig. 1.49b;

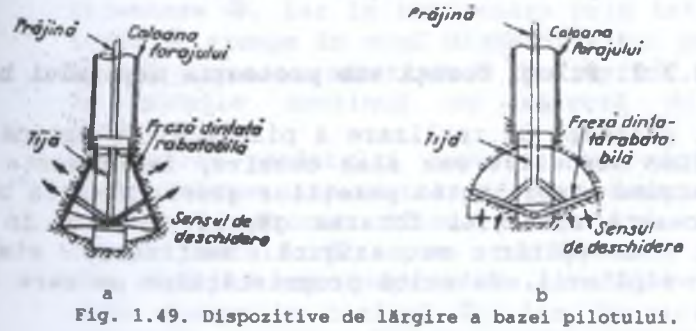


Fig. 1.49. Dispozitive de lărgire a bazei pilotului.
a. cu braţele articulate pe partea superioară;
b. cu braţele articulate pe partea inferioară.

Dispozitivul cu braţele articulate la partea superioară asigură obţinerea unei forme conice a bazei săpăturii, lucru favorabil pentru menţinerea stabilităţii pământurilor fisurate, iar la extragere braţele se pot retrage în chiblă favorizând astfel operaţiunea de ridicare.

În cazul dispozitivului cu braţele articulate la partea inferioară rezultă o evazare mai mare a bulbului, o suprafaţă de bază mau curată, însă forma de clopot a săpăturii prezintă un grad de instabilitate ridicat precum şi pericolul de înţepenire a dispozitivului în gaura de foraj în momentul extragerii.

Diametrul bazei lărgite a pilotului poate ajunge până la 3,6m în cazul dispozitivelor cu braţele articulate la partea inferioară şi poate atinge valoarea de 6m în cazul utilizării unor dispozitive speciale.

Lărgirea bazei nu se face în cazul piloţilor cu diametrul mai mic de 65cm.

Introducerea carcasei de armătură în gaura forată se realizează cu ajutorul macaralei, iar suspendarea la nivelul terenului se face prin intermediul unor profile metalice.

Carcasa de armătură va depăşi nivelul terenului, în vederea asigurării legăturii dintre pilot şi radier.

Formarea corpului pilotului se face prin betonare cu ajutorul unei pâlnii cu hoboţi sau prin pompare, pentru a preîntâmpina segregarea betonului şi antrenarea pământului din pereţii găurii.

Pâlnia de turnare şi furtunul pompei se ridică pe măsură ce coloana de beton creşte, însă capătul inferior al acestora va rămâne în beton pe o adâncime de cca. 0,50m, pentru a evita contactul betonului nou turnat cu pământul din săpătură.

În acest fel numai prima şarjă de beton rămâne în contact cu pereţii săpăturii pe timpul betonării.

În mod uzual, cu ajutorul instalaţiei de foraj rotativ tip Salzgitter rezultă piloţi cu diametrul de 600 şi 800mm cu fişa de maximum 20m, respectiv diametrul cuprins între 600-3000mm şi fişa de 30m pentru instalaţia Calweld.

1.3.3.3.2. Piloţi foraţi sub protecţia noroiului bentonitic

Acest procedeu de realizare a piloţilor se aplică în cazul pământurilor necoezive sau slab coezive, în prezenţa apei, ce nu pot asigura stabilitatea pereţilor găurii până la betonare.

În această situaţie, forarea găurii se face în prezenţa noroiului bentonitic ce asigură menţinerea stabilităţii pereţilor săpăturii, datorită proprietăţilor pe care acesta le prezintă.

Noroiul bentonitic denumit noroi de foraj, reprezintă o suspensie de apă cu argilă având un conţinut de montmorillonit de peste 60%, ce asigură menţinerea stabilităţii pereţilor săpăturii prin:

- dezvoltarea presiunii hidrostatice, superioară presiunii apei şi a împingerii active a pământului, datorită densităţii de (1,05-1,10)g/cm^3, vâscozitatea de (35-50)s, filtraţia sub 20 cm^3/30 min., turta sub 3mm şi conţinut de nisip sub 3%;
- formarea unei cruste subţiri (centimetrice) pe suprafaţa peretelui datorită colmatării porilor şi gelificarea noroiului;
- reducerea presiunii active a apei şi pământului datorită efectului de boltă rezultat ca urmare a celor două fenomene dezvoltate anterior.

Forarea găurii în vederea realizării pilotului se poate face cu ajutorul instalaţiilor specializate cu circulaţie directă sau inversă a suspensiei, care asigură de altfel şi antrenarea spre suprafaţă a materialului săpat.

Etapele de realizare a pilotului cuprind:

- formarea găurii la cota din proiect;
- curăţirea fundului săpăturii prin recircularea noroiului până ce densitatea acestuia rămâne constantă şi foarte apropiată de cea iniţială;
- introducerea carcasei de armătură prin suspendarea acesteia în cârligul macaralei;
- turnarea betonului prin procedeul Contractor.

Schemele de alcătuire şi funcţionare principială a instalaţiilor de forare rotativă în prezenţa noroiului bentonitic sunt prezentate în fig. 1.50 şi constau în:

- **pentru circulaţia directă a suspensiei, fig. 1.50a:**
  - prepararea noroiului bentonitic în bazinul ① amenajat la nivelul terenului de unde este trimis cu ajutorul pompei ② spre capul de injectare ③, iar în continuare prin intermediul tijei ④ ajunge în zona dispozitivului de săpare ⑤, căruia masa rotativă ⑥ îi imprima mişcarea de rotaţie continuă ce asigură dislocarea pământului;
  - antrenarea pământului rezultat din săpătură de către coloana ascendentă de noroi bentonitic ⑦, amestecul obţinut fiind dirijat cu ajutorul tubului metalic ⑧, spre sita ⑨, unde pământul din săpătură este separat de noroiul bentonitic care ajunge în bazinul ①, iar de aici ciclul continuă.

- **pentru circulaţia inversă a suspensiei, fig. 1.50b:**
  - prepararea noroiului bentonitic în bazinul ① amenajat la nivelul terenului, de unde gravitaţional ajunge în gaura de foraj ② asigurând menţinerea stabilităţii pereţilor acesteia în timpul dislocării pământului cu ajutorul dispozitivului de sapă ③ antrenată de masa rotativă ④ prin intermediul tijei ⑤;
  - antrenarea prin aspirare a amestecului noroi bentonitic-pământ săpat spre capul de aspiraţie ⑥ de unde prin intermediul conductelor de legătură ajunge la pompa de aspiraţie ⑦, iar de aici din nou în bazinul ①, unde amestecul este decantat, noroiul bentonitic fiind recirculat iar pământul din săpătură evacuat în afară.

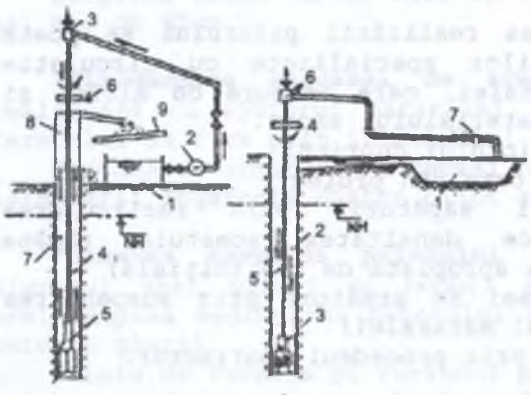


Fig. 1.50. Schemele de alcătuire principială a instalaţiilor de forare rotativă în prezenţa noroiului bentonitic.
a. cu circulaţia directă a suspensiei;
b. cu circulaţia inversă a suspensiei.

1.3.3.3.3. Piloţi foraţi cu tubaj recuperabil

Piloţii foraţi de diametru mare executaţi sub protecţia tubajului metalic a pereţilor găurii, care în timpul betonării se recuperează, au un domeniu de utilizare foarte larg.

Procedeul se aplică cu rezultate foarte bune în orice condiţii de teren, stabilitatea pereţilor găurilor de foraj fiind asigurată de prezenţa tubului metalic.

Săparea pământului în interiorul tubului metalic se face cu ajutorul unor dispozitiv tip graifăr, echipate pe instalaţii de foraj specializate, de tip: Benoto, Bade, Hochstrasser-Weise, Franki, Kato, etc.

Instalaţia tip Benoto este cea mai utilizată la realizarea piloţilor foraţi de diametru mare, fiind concepută de firma Benoto din Franţa şi asigură realizarea unor foraje cu diametrul cuprins intre (0,8-2,0)m, adâncimea de până la 80 m, iar înclinarea faţă de verticală de maximum 12^0.

Realizarea piloţilor foraţi de diametru mare cu ajutorul instalaţiei tip Benoto, presupune parcurgerea următoarelor etape de lucru:

- aducerea instalaţiei pe amplasament, cu coloana de săpare pe pichet;
- introducerea coloanei metalice în pământ, până la cota din proiect;
- excavarea pământului din interiorul coloanei metalice;
- curăţirea de pământ a interiorului coloanei metalice şi formarea bulbului (dacă este cazul şi este prevăzut în proiect);
- introducerea carcasei de armătură în interiorul tubului metalic;
- turnarea betonului în interiorul tubului metalic concomitent cu extragerea acestuia.

O vedere de ansamblu a instalaţiei tip Benoto este prezentată în fig. 1.51, iar schematizarea etapelor de lucru arată ca în fig. 1.52.

Fig. 1.51. Instalaţie de foraj tip Benoto - vedere de ansamblu.

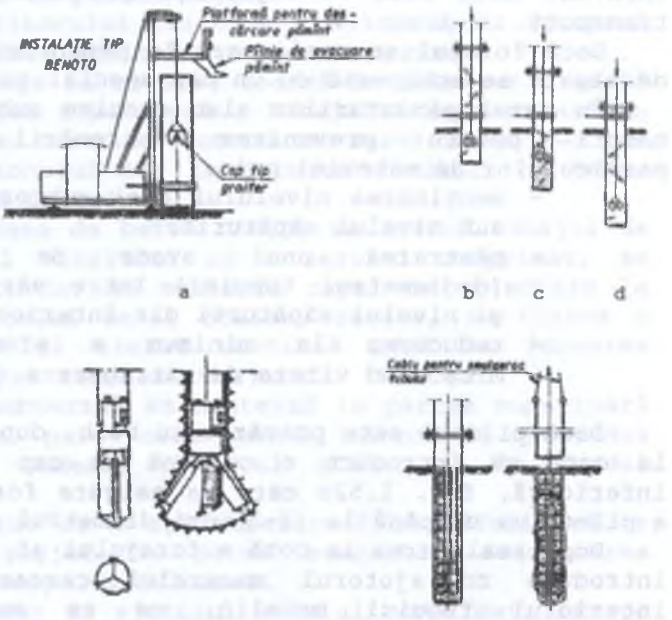


Fig. 1.52. Etapele de realizare a piloţilor foraţi cu ajutorul instalaţiei tip Benoto.

a. aducerea pe plasament a instalaţiei, cu coloana de săpare pe pichet; b,c,d. Introducerea în pământ a coloanei, concomitent cu excavarea pământului din interiorul tubului metalic; e. curăţirea interiorului coloanei şi formarea bulbului; f, g. introducerea carcasei de armătură şi turnarea betonului concomitent cu extragerea tubului metalic.

Coloana ce asigură protecţia pereţilor săpăturii este alcătuită din tronsoane metalice, cu posibilitate de îmbinare între ele, primul tronson fiind prevăzut la vârf cu o coroană dinţată, aşa cum se poate vedea în fig. 1.52a,b,c,d.

Introducerea tubului metalic în pământ este asigurată de către utilajul Benoto, prin intermediul unor pârghii hidraulice ce acţionează asupra unei brăţări cu umeri fixată pe tub.

Pârghiile hidraulice transmit tubului metalic o mişcare dublă, o semirotaţie orizontală spre stânga sau dreapta şi apoi invers, combinată cu o mişcare verticală în jos sau în sus, după cum coloana trebuie introdusă sau extrasă din teren.

Cele două mişcări perpendiculare şi simultane determină o mişcare rezultantă, numită de **luvoaiere**, care reduce în totalitate frecarea dintre pământ şi suprafaţa laterală a tubului şi îi asigură acestuia înaintarea sau extragerea din teren.

Dislocarea şi evacuarea pământului din interiorul coloanei se face cu un echipament special denumit hammer-grab sau graifăr monocablu, care lăsat să cadă sub greutatea proprie se înfige în pământ, iar prin închiderea fălcilor materialul încărcat este scos la suprafaţă şi descărcat în mijlocul de transport.

Dacă forajul se realizează în pământuri dure, dispozitivul de săpare se echipează cu un cap special cu sfredel.

În cazul pământurilor slab coezive sub apă, trebuie luate măsuri pentru prevenirea antrenării hidrodinamice a particulelor de material prin:

- menţinerea nivelului apei subterane cu cel puţin 1m sub nivelul săpăturii;
- păstrarea unui avans de cel puţin 0,5d (d=diametrul tubului) între vârful tubului metalic şi nivelul săpăturii din interior;
- reducerea la minimum a efectului de piston, micşorând viteza de extragere a graifărului din tub.

Dacă pilotul este prevăzut cu bulb, după ce forajul a ajuns la cotă se introduce o coloană cu cap aligator la partea inferioară, fig. 1.52e care va asigura formarea bazei lărgite a pilotului de până la (2-3) ori diametrul acestuia.

După realizarea la cotă a forajului şi formarea bulbului se introduce cu ajutorul macaralei carcasa de armătură în interiorul tubului metalic, ce se suspendă la nivelul terenului prin intermediul unor profile metalice.

Carcasa de armătură nu va rezema pe fundul săpăturii şi va asigura legătura corp pilot-radier, fig. 1.52f.

Sistemul de betonare a corpului pilotului se alege în funcţie de condiţiile concrete ale amplasamentului.

Betonarea se va face cu ajutorul pâlniei fixe cu burlane de dirijare a betonului sau cu pompa de beton.

Pe măsură ce coloana de beton creşte se retrage tubul metalic de protecţie astfel ca baza acestuia să rămână cu cel puţin 2m sub nivelul betonului.

În funcţie de natura terenului şi a tipului instalaţiei de foraj viteza normală de înaintare a forajului este cuprinsă între:

- (1,20-2,50) m/h, pentru nisipuri;
- (1,0-1,50) m/h, pentru pietrişuri;
- (0,60-2,0) m/h, pentru argile compacte;
- (3,0-6,0) m/h, pentru argile moi.

Piloţii Benoto au o largă utilizare în cazul lucrărilor de poduri, unde sarcina transmisă de pila podului este mare, putând depăşi 200 tf/pilot.

Tot în categoria piloţilor foraţi cu tubaj recuperabil intră piloţii realizaţi sub presiune, denumiţi în ţara noastră ca piloţi Wolfscholtz şi piloţii Prestcore.

Piloţii realizaţi sub presiune se utilizează frecvent la lucrările de subzidire fiind executaţi de firma *Pressure Piling Company* la diametre de 34 şi 43cm, pentru sarcini de serviciu de 300 şi 400kN sau chiar mai mari în cazul când vârful atinge un strat de pământ tare.

Golul tubat al viitorului pilot se realizează cu ajutorul unei instalaţii de forare acţionată cu aer comprimat.

După ce tubul ajunge la cotă se toarnă în interior o şarjă de beton, iar la partea superioară a tubajului se montează un cap de presiune prin care se introduce aerul comprimat ce asigură îndesarea betonului iar în anumite condiţii de teren (moale) şi la formarea bulbului.

Pe măsură ce coloana de beton creşte se ridică tubajul de protecţie cu ajutorul vinciului şi a aerului comprimat, se demontează primul tronson, se montează capul de injectare la capătul superior al celui de-al doilea tronson, se toarnă o nouă şarjă de beton şi ciclul continuă până la formarea corpului pilotului şi extragerea tubajului.

Dacă există apă subterană se montează la partea superioară a tubajului un sas prin care aerul comprimat introdus îndepărtează apa şi îndeasă pământul afânat de la fundul forajului.

Sasul este prevăzut cu o uşă superioară şi inferioară ce asigură încărcarea şarjei de beton respectiv descărcarea acesteia şi formarea corpului coloanei.

Betonul este îndesat cu ajutorul aerului comprimat, iar pe măsură ce coloana de beton creşte, se ridică tubajul de protecţie, se desface primul tronson, se montează sasul la capătul superior al tronsonului următor şi operaţia continuă până ce betonul turnat împiedică accesul apei în sus.

În continuare sasul de demontează, iar ciclul se repetă prin turnarea şarjelor de beton şi compactarea acestora cu ajutorul aerului comprimat introdus prin capul de presiune.

Piloţii Prestcore se produc după licenţa firmei *British Steel Piling Company*, iar procedeul constă conform fig. 1.53 în parcurgerea următoarelor etape:

- forarea tubată a găurii până la cota din proiect aplicând o metodă obişnuită de lucru şi turnarea unei şarje de beton, fig. 1.53a;
- introducerea pe un tub metalic a unor elemente prefabricate de formă cilindrică prevăzute cu gol central şi mici goluri periferice pentru trecerea barelor de armătură şi coborârea întregului ansamblu în gaura de foraj, fig. 1.53b;
- se ridică puţin tubajul de protecţie a găurii cu ajutorul unei prese hidraulice ce acţionează la partea superioară, moment în care ansamblul obţinut la aliniatul precedent reazemă pe betonul proaspăt determinând îndesarea acestuia şi tendinţa de refulare în lateral, cu formarea bulbului în cazul terenurilor moi, fig. 1.53c;
- se instalează pe capătul superior al tubajului de protecţie a găurii un cap de presiune prin care se introduce mortar de ciment în tubul central ce pătrunde între elementele prefabricate şi pământ umplând golurile în care se găsesc armăturile şi expulzând apa subterană pe măsură ce coloana de mortar creşte, fig. 1.53d;
- se continuă extragerea tubajului de protecţie concomitent cu injectarea sub presiune a mortarului care pătrunde şi umple spaţiul dintre faţa exterioară a elementelor prefabricate şi pământ.

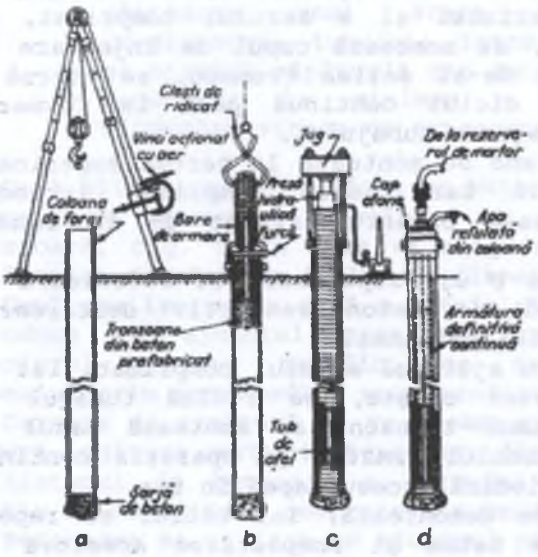


Fig. 1.53. Etapele de realizare a piloţilor Prestcore.

Elementele prefabricate utilizate la realizarea piloţilor prestcore sunt deosebit de eficiente în cazul pământurilor refulante sau agresive chimic.

Acestea se livrează la diametre de 36cm, 46cm şi 66cm, pentru încărcări de serviciu de 400kN, 600kN şi 1000kN funcţie de condiţiile de teren.

1.3.3.3.4. Piloţi foraţi cu tubaj nerecuperabil

Pilotul forat pentru care formarea găurii se face în uscat sau sub apă, iar susţinerea pereţilor este asigurată cu ajutorul unui tub ce nu se recuperează, este denumit conform STAS 2561/1-83 **„pilot forat cu tubaj pierdut"**.

Piloţii cu tubaj pierdut, la care tubajul este constituit din elemente prefabricate din beton armat sau din ţevi metalice poartă denumirea conform aceluiaşi STAS, de **coloane**.

Alte prescripţii de specialitate definesc coloanele ca fiind elemente prefabricate tubulare având diametrul mai mare decât 1m, ce sunt caracterizate printr-o serie de trăsături specifice precum:

- utilizarea tuburilor cu pereţi subţiri din beton armat sau precomprimat denumite coloane, realizate cu elemente independente de dimensiuni convenabile pentru transport şi manipulare şi flanşe de îmbinare intre ele la montaj;
- introducerea în teren prin vibrare sau evacuarea pământului din interior, funcţie de natura pământului penetrat;
- încastrarea coloanelor în straturile stâncoase sau semistâncoase prin tehnica forării;
- posibilităţi de realizare a lucrărilor de la suprafaţa terenului.

Dacă se are în vedere tehnologia de execuţie şi modul de conlucrare cu terenul, coloanele se mai pot defini ca:

- piloţi-coloane;
- coloane propriu-zise;
- puţuri-coloană.

Piloţii coloane rezultă din asamblarea tronsoanelor prefabricate centrifugate de (8-10) m lungime, 0,4; 0,6; 1,0m diametru şi grosimea peretelui de 6, 10 şi 12cm.

Coloanele propriu-zise rezultă în urma asamblării unor tronsoane prefabricate de (6-10) m lungime, diametrul de 1,0, 1,6, 2,0, 3,0m, grosimea peretelui de 12cm, turnate în poziţie orizontală în cofraje de inventar sau prin centrifugare.

Puţurile-coloană (chesoane deschise) rezultă prin asamblarea unor tronsoane prefabricate de (6-8)m lungime,

diametrul de 3,0; 4,0; 5,0m şi grosimea peretelui de (14-20) cm, turnate în poziţie verticală în cofraje de inventar.

Coloanele se realizează din beton de clasă cel puţin Bc22,5 pentru pereţi şi Bc10 pentru interior, armături longitudinale sub formă de bare dispuse pe unul sau două rânduri şi armătură transversală tip fretă.

Primul tronson de coloană are capătul inferior sub formă de cuţit ce facilitează pătrunderea în teren, iar îmbinarea între tronsoane se poate face cu flanşe-şuruburi, manşon metalic sau prin sudarea armăturii longitudinale.

Etapele de lucru privind realizarea piloţilor foraţi cu tubaj nerecuperabil sunt prezentate în fig. 1.54 şi constau în:

- realizarea prin prefabricare a elementelor tubulare;
- transportul elementelor prefabricate la locul de punere în operă;
- aşezarea pe pichet, în poziţia de montaj a primului tronson, fig. 1.54a;
- echiparea capătului superior al tronsonului cu o piesă metalică denumită capitel, pe care se montează vibratorul pentru introducerea coloanei în teren;
- introducerea în teren a tronsonului prefabricat sub efectul vibraţiilor şi a greutăţii proprii a acestuia, fig. 1.54b;
- evacuarea pământului din interiorul coloanei, fig. 1.54c;
- ataşarea de elemente curente noi şi realizarea îmbinărilor dintre acestea, pe măsură ce coloana înaintează în teren, fig. 1.54d;
- încastrarea coloanei în stratul de rocă stâncoasă sau semistâncoasă (atunci când aceasta atinge un astfel de strat) cu ajutorul unor dispozitive de forare adecvate caracteristicilor fizico-mecanice ale terenului şi diametrului coloanei, fig. 1.54e;
- lărgirea bazei coloanei cu dispozitive specializate acestei operaţiuni;
- betonarea golului din interiorul coloanei, iar în cazul când aceasta se încastrează în teren, înaintea betonării se introduce carcasa de armătură, fig. 1.534f.

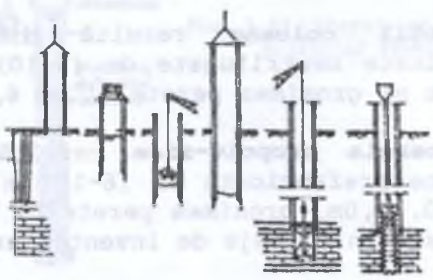


Fig. 1.54. Etapele de realizare a piloţilor foraţi cu tubaj nerecuperabil - coloane.

Săparea şi evacuarea pământului din interiorul coloanei se face cu echipamente de lucru adecvate categoriei de teren, respectiv:

- cu sistemul airlift;
- cu ajutorul hidroelevatorului sau lingurii hidraulice în cazul pământurilor necoezive;
- cu ajutorul echipamentelor tip graifăr sau airliftul cu daltă în cazul pământurilor coezive.

Sistemului de săpare ales i se poate ataşa şi procedeul auxiliar al subspălării exterioare sau interioare, atunci când acesta facilitează înaintarea coloanei în teren, în special al celor nisipoase.

Înaintarea coloanei în teren se face prin vibroînfigere cumulând efectul vibraţiilor cu cel datorat greutăţii proprii şi este facilitată de evacuarea pământului din interior prin reducerea frecărilor dintre pământ şi suprafaţa interioară a coloanei.

Efectul vibraţiilor produc însă solicitări suplimentare în corpul coloanei, care trebuie luate în considerare la proiectarea acestora şi pentru stabilirea caracteristicilor vibratorului.

Pentru calcul, ansamblul coloană-sistem de vibrare se consideră ca un corp absolut rigid, acţionat conform fig. 1.55 de următoarele forţe:

- forţă perturbatoare P_0 produsă de vibraţii;
- greutatea sistemului de vibrare, G_v;
- greutatea pereţilor coloanei şi a pământului din interior, G_c;
- frecarea laterală, F;
- rezistenţa opusă de teren la baza coloanei, R, considerând o comportare elastică a terenului, caracterizat prin constanta de rigiditate K;

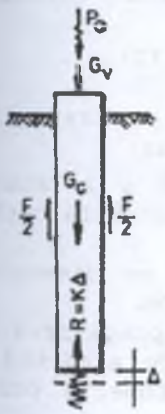


Fig. 1.55. Schematizarea forţelor ce acţionează ansamblul coloană-sistem de vibrare.

Solicitările ce apar în corpul pilotului depind d parametrii de lucru ai vibroînfigătorului care determină:

- compresiune şi întindere în capătul superior a coloanei notate S_{sc}, respectiv S_{si};
- compresiune în capătul inferior al coloanei notat S_{ic}.

Solicitarea de compresiune dezvoltată în capătul inferio al coloanei, S_{ic}, se determină în urma prelucrării matematice a rezultatelor obţinute prin încercări de teren, cu ajutoru relaţiei:

$$S_{ic} = \left(\frac{n}{\omega} - 0{,}3\right)\frac{4{,}3P_0}{\sqrt{\frac{F}{G}} + 0{,}3} - 3{,}8G - 0{,}212\frac{F^2}{G} \qquad (8)$$

unde:

ω, n - frecvenţa unghiulară şi numărul rotaţiilor/minu ale excentricilor vibratorului;

G - greutatea ansamblului oscilant (vibrator + coloan pământ din interior;

P_0 - forţa perturbatoare dezvoltată de vibrator definită c produsul $M\omega^2$ ($P_0 = M\omega^2$) în care M reprezint momentul masei excentricilor vibratorului.

Solicitările de compresiune şi întindere din capul superio al coloanei se determină astfel:

$$S_{sc} = (F + S_{ic})\left(1 - \frac{G_c}{G}\right) + P_0 \cdot \frac{G_c}{G}; \quad (9) \qquad S_{si} = P_0 - (P_0 - F)\left(1 - \frac{G_c}{G}\right) \quad (10)$$

Pentru asigurarea înaintării în teren a coloanei trebui satisfăcută condiţia:

$$S_{ic} \geq R_{crt}; \qquad (11)$$

iar pentru coloana ajunsă la cotă trebuie îndeplinit inegalitatea:

$$S_{ic} \leq \bar{R}_{crt}; \qquad (12)$$

unde:

R_{crt} - semnifică rezistenţa limită a straturilor d pământ străbătute de coloanei;

$\bar{R}_{crt}$ - semnifică rezistenţa critică a stratului d teren de la baza coloanei ajunsă la cotă.

Având determinate mărimile S_{sc}; S_{si}; S_{ic} se dimensionea pereţii coloanei şi tehnologia de vibroînfigere.

După ajungerea coloanei la cotă şi pregătirea baz acesteia se trece la introducerea carcasei de armătură (da este cazul) după care golul interior se betonează printr-u procedeu de lucru adecvat.

Dacă betonarea se face sub apă se aplică metoda tubului ridicător pentru realizarea unei coloane de beton cu înălțimea de (2-5)m, după întărirea căreia se îndepărtează apa din interior, iar betonarea continuă în uscat.

Pe parcursul execuției tuturor lucrărilor ce concură la realizarea piloților forați sub tubaj nerecuperabil (coloane) se vor respecta pe faze de lucru prevederile conținute în caietul de sarcini.

În condițiile de teren în care piloții obținuți sunt nepotriviți sau neeconomici se utilizează **piloții compuși** ce sunt combinații de piloți forați și bătuți sau piloți bătuți alcătuiți din două materiale diferite.

Cel mai uzual tip de piloți combinați sunt realizați din beton și lemn, care îmbină în mod judicios avantajele oferite de prețul scăzut și manipularea ușoară a lemnului cu durata de viață ridicată a betonului.

Poziția materialelor în lungul fișei pilotului urmărește în mod deosebit comportarea favorabilă a acestora la condițiile concrete de teren.

Astfel, partea inferioară din lemn a pilotului compus este situată în permanență sub nivelul cel mai scăzut al apei subterane, iar partea superioară se realizează din beton.

Un astfel de pilot compus este prezentat în fig. 1.56, iar procedeul de realizare constă în:

- introducerea în teren prin batere a unui tub metalic ① ce depășește puțin nivelul apei subterane, fig. 1.56a;
- evacuarea printr-un procedeu obișnuit de lucru a pământului din interiorul tubului metalic, fig. 1.56b;
- introducerea în gaura formată a pilotului din lemn ② și baterea acestuia până la cota necesară, fig. 1.56c;
- betonarea golului situat deasupra capului pilotului din lemn (rezultând corpul din beton ③), concomitent cu extragerea tubului metalic, fig. 1.56d.

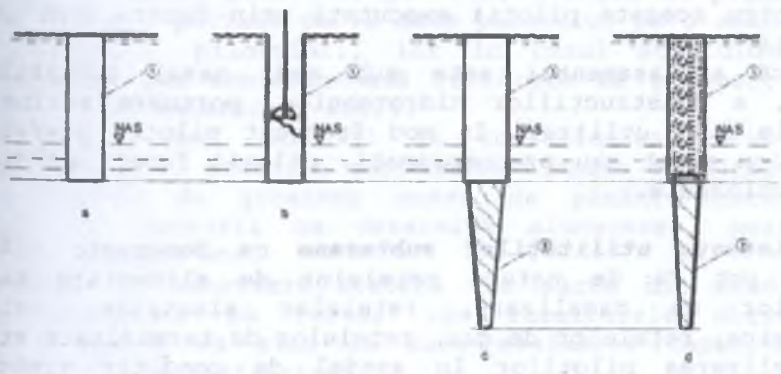


Fig. 1.56. Etapele realizării unui pilot compus lemn-beton.

Alt procedeu de realizare a piloţilor compuşi lemn-beton constă în înlocuirea tubului metalic cu un tronson prefabricat din beton armat prevăzut cu gol interior, ce se umple cu beton după baterea în teren la cota dorită a pilotului din lemn.

1.4. PROIECTAREA FUNDAŢIILOR PE PILOŢI

1.4.1. Elemente necesare proiectării fundaţiilor pe piloţi

Alegerea soluţiei optime de fundare, dimensionarea raţională şi eficientă a fundaţiilor pe piloţi, în condiţii de rezistenţă şi stabilitate corespunzătoare presupune cunoaşterea unor elemente legate de:

- caracteristicile de amplasament ale construcţiei;
- destinaţia şi alcătuirea structurală a construcţiei;
- natura, mărimea şi modul de transmitere a încărcărilor de către construcţie;
- tehnologiile disponibile de realizare a piloţilor;
- încercări efectuate pe piloţi de probă.

a. Caracteristicile de amplasament ale construcţiei

Acestea se referă la: poziţia în raport cu vecinătăţile, existenţa utilităţilor subterane, condiţiile topografice, condiţiile geologice-geotehnice şi hidrogeologice.

Poziţia amplasamentului în raport cu vecinătăţile furnizează informaţii privind tipul de piloţi folosiţi în funcţie de apropierea faţă de construcţii existente şi de prezenţa apei.

În cazul amplasamentelor situate în zone urbane procedeele de realizare a piloţilor nu trebuie să determine efecte suplimentare asupra construcţiilor vecine, evitându-se astfel zgomotele puternice, vibraţiile, umflarea pământului din jur etc.

Pentru aceasta piloţii executaţi prin forare sunt cei mai indicaţi.

Dacă amplasamentul este sub apă, cazul lucrărilor de poduri, a construcţiilor hidrotehnice, portuare marine sau fluviale sunt utilizaţi în mod frecvent piloţii prefabricaţi din beton armat sau precomprimaţi, piloţii foraţi de diametru mare, coloanele.

Existenţa utilităţilor subterane ce deservesc clădirile vecine pot fi de natura reţelelor de alimentare cu apă, reţelelor de canalizare, reţelelor electrice, reţelelor telefonice, reţelelor de gaz, reţelelor de termoficare etc.

Realizarea piloţilor în astfel de condiţii trebuie să asigure efecte şi riscuri minime asupra acestora.

Condiţiile topografice se referă la suprafaţa terenului şi a stratului aferent vârfului pilotului şi constituie un criteriu important de alegere a tipului de pilot.

Astfel, în cazul grosimii variabile ale stratului portant, soluţia piloţilor foraţi este mai economică în comparaţie cu cea a piloţilor prefabricaţi.

Condiţiile geologice-geotehnice şi hidrologice, se referă în principal la:

- natura, stratificaţia şi caracteristicile fizico-mecanice ale terenului;
- nivelul apei subterane şi variabilitatea acestuia în timp;
- nivelul de etiaj minim şi maxim a apei de suprafaţă;
- agresivitatea apelor subterane şi adâncimea probabilă de afuiere sub efectul curenţilor de apă.

Stratificaţia şi natura terenului se pune în evidenţă pe baza studiilor geotehnice efectuate pe amplasament, care furnizează date cu privire la prezenţa şi dispoziţia straturilor de pământ compresibile şi de portanţă redusă.

Funcţie de grosimea stratului de pământ compresibil prezent în zona superioară, se disting două situaţii posibile:

- prezenţa stratului compresibil de grosime mare, care depăşeşte adâncimea maximă de realizare cu tehnologii curente a piloţilor;
- prezenţa stratului compresibil de grosime redusă ce poate fi depăşit prin tehnologii curente de realizare a piloţilor.

În prima situaţie se recomandă piloţii flotanţi iar în cea de-a doua situaţie sunt de preferat piloţii purtători pe vârf.

Studiile geotehnice efectuate trebuie să arate dacă sub vârful pilotului flotant sau piloţilor purtători pe vârf nu urmează un strat de pământ puternic compresibil.

În cazul piloţilor purtători pe vârf, forajul de probă va pătrunde în stratul portant de la baza pilotului pe o adâncime de 3d (d-diametrul pilotului), iar în cazul stratului de natură stâncoasă sau semistâncoasă lucrările de prospecţiune vor depăşi zona de alterare a rocii.

Dacă piloţii sunt folosiţi la consolidarea terenului împotriva alunecării, studiile geotehnice trebuie să furnizeze informaţii legate de grosimea masei de pământ instabil, intensitatea şi factorii ce determină alunecarea, poziţia planului de alunecare etc.

Încercările de penetrare statică fac parte din studiile geotehnice efectuate pe teren, iar rezultatele obţinute constituie elemente ce stau la baza evaluării capacităţii portante a piloţilor prefabricaţi.

b. Destinaţia şi alcătuirea structurală a construcţiei

Caracteristicile construcţiei legate de formă, dimensiuni în plan şi pe înălţime, alcătuire structurală, furnizează informaţii deosebit de utile cu privire la natura, mărimea şi modul de transmitere către fundaţie a încărcărilor.

Aceste elemente impun sub aspect tehnic şi economic utilizarea anumitor tipuri de piloţi, ce constituie pentru o situaţie dată soluţia cea mai raţională şi mai ieftină în comparaţie cu altele.

Caracteristicile construcţiei determină numărul, dispoziţia în plan, dimensiunile şi alcătuirea piloţilor, iar pentru radier: forma, dimensiunile în plan şi alcătuirea constructivă.

Fundaţiile pe piloţi sunt recomandate în cazul suprastructurilor supuse încărcărilor orizontale şi/sau verticale semnificative şi sensibile la tasări inegale.

c. Natura, mărimea şi modul de transmitere a încărcărilor de către construcţie, constituie un criteriu important în alegerea soluţiei optime de fundare, astfel:

- în cazul încărcărilor orizontale şi verticale transmise de suprastructură, mari, soluţia piloţilor foraţi de diametru mare este favorabilă în multe situaţii altor categorii de piloţi;
- în cazul solicitărilor de smulgere sau dinamice, piloţii de îndesare sunt recomandaţi în raport cu cei de dislocuire;
- în cazul încărcărilor transmise de suprastructură pe suprafaţă redusă sunt recomandaţi piloţii cu capacitate portantă ridicată;
- în cazul încărcărilor transmise de suprastructură pe o suprafaţă mare, soluţia piloţilor de îndesare este mai economică în raport cu soluţia piloţilor de dislocuire;
- în cazul consolidării masivelor de pământ împotriva alunecării, de realizare a fundaţiilor de poduri, utilizarea piloţilor foraţi de diametru mare, a coloanelor, constituie soluţia optimă de fundare în raport cu alte categorii de piloţi.

d. Tehnologiile disponibile de realizare a piloţilor determină sau limitează adoptarea unei anumite soluţii de fundare pe piloţi.

e. Încercări efectuate pe piloţi de probă

Încercarea în teren pe cale dinamică a piloţilor prefabricaţi izolaţi şi încercarea statică a piloţilor izolaţi

sau în grup, în vederea stabilirii capacităţii portante şi a relaţiei încărcare-deformaţie, sunt reglementate prin STAS 2561/2-81, [18].

Aceste determinări sunt obligatorii pentru definitivarea soluţiei de proiectare şi trebuie realizate pe amplasament, cu aceleaşi tehnologii, utilaje şi în aceleaşi condiţii de lucru în care urmează a se executa viitorii piloţi.

Încercările efectuate în mod curent pe piloţi de probă sunt:

- încercări pe cale dinamică;
- încercări statice
  - la compresiune cu forţe verticale;
  - la smulgere;
  - la forţe orizontale.

În cazuri deosebite se pot executa încercări pe piloţi de probă, izolaţi sau în grup, după scheme complexe de încărcare, care urmăresc simularea condiţiilor de solicitare reală a elementului .

Schemele complexe de încărcare se referă la aplicarea simultană a forţelor orizontale şi verticale, a forţelor înclinate, a forţelor orizontale ciclice, etc.

Pentru lucrări de importanţă deosebită se recomandă urmărirea deformaţiilor şi eforturilor în lungul piloţilor, folosind pentru aceasta aparatură adecvată (tensometre electro-acustice, tensometre electro-rezistive, doze de presiune, etc.).

Piloţii de probă vor fi de acelaşi tip, aceleaşi dimensiuni şi vor fi realizaţi în aceleaşi condiţii cu piloţii utilizaţi în lucrare.

e_1. Încercarea pe cale dinamică

Încercarea pe cale dinamică este specifică piloţilor prefabricaţi şi urmăreşte stabilirea refuzului pilotului definit ca **„pătrunderea medie a acestuia sub o lovitură dintr-o serie de 10 lovituri aplicate de la înălţimea H cu un berbec de masă M cu acţiune simplă şi cadenţă rară (max. 60 lovituri/minut)"**.

Masa M a berbecului va fi cel puţin egală cu:

- masa pilotului în cazul piloţilor din beton armat;
- de două ori masa pilotului în cazul piloţilor din lemn sau metal, iar înălţimea H se determină din condiţia ca lucrul mecanic L al unei lovituri să fie egal cu:

  $L = M.g.H \approx 15kN.m$, pentru piloţii din lemn;

  $L = M.g.H = (20-40)kN.m$, pentru piloţii din beton armat, funcţie de masa acestora.

Valoarea refuzului se determină atunci când vârful pilotului a pătruns în orizontul de pământ indicat în studiul geotehnic.

În acest moment se aplică pilotului de probă un număr de 10 lovituri, cu ajutorul berbecului de masă M lăsat să cadă de la înălțimea H.

După aplicarea loviturilor se măsoară pătrunderea totală în teren a pilotului (E), iar refuzul pilotului (e) se determină cu relația:

$$e=\frac{E}{10}\ [cm]; \qquad (13)$$

Valoarea refuzului astfel determinată servește la calculul capacității portante a pilotului conform STAS 2561/3-90, [20].

Încercarea piloților de probă de efectuează după epuizarea timpului de odihnă stabilit prin proiect, dar cel puțin:

- 3 zile, pentru piloții introduși în terenuri necoezive;
- (6-15)zile, pentru piloții introduși în terenuri coezive, funcție de proporția de straturi argiloase existente pe adâncimea străbătută de pilot.

Pentru înregistrarea pătrunderii piloților în teren, aceștia se marchează din decimetru în decimetru începând de la vârf, fără partea ascuțită.

Pentru efectuarea încercării pe cale dinamică a piloților de probă se folosesc: utilaj de batere, cadrul de referință și riglele de măsurare.

Utilajul de batere îl reprezintă berbecul cu acțiune simplă și cadență rară.

Cadrul de referință se realizează din țevi sau profile metalice fixate în teren la minimum 2 m de axa pilotului și reprezintă reperul față de care se măsoară pătrunderea prin batere a pilotului.

Riglele sunt instrumente gradate în mm cu ajutorul cărora se măsoară pătrunderea în teren a piloților, fiind acceptată efectuarea măsurătorilor și cu ajutorul furtunului de nivel, aparaturii optice sau dispozitivelor cu înregistrare grafică automată cu condiția asigurării preciziei de 1mm și raportarea măsurătorilor față de repere fixe.

Execuția piloților de probă se realizează sub supravegherea personalului tehnic calificat, prin care se consemnează într-un registru special date cu privire la:

- poziția în plan a pilotului sau grupului de piloți;
- tipul utilajului folosit și caracteristicile acestuia;
- dimensiunile definitive ale pilotului;
- caracteristicile materialului din care este alcătuit pilotul (marca betonului, tipul armăturii, etc.);
- comportarea pilotului în timpul introducerii în teren, eventuale degradări semnalate, etc.;
- alte observații survenite în timpul execuției;
- încărcarea prezumată în proiect pe pilot sau pe grupul de piloți;
- fișa de batere și diagrama de înfigere.

e_2. Încercarea statică a piloților de probă

Indiferent de tipul solicitării, încercarea statică a piloților de probă constă în aplicarea și menținerea constantă a încărcării până la stabilizarea deformațiilor, moment în care se face măsurarea acestora.

Încercările statice de probă sunt de tip **„efort impus - deformație măsurată"**, recomandându-se a fi realizate cu metodologii standardizate, care presupun în principal:

- realizarea piloților de probă în condiții similare celor utilizați în lucrare;
- utilizarea schemei de încărcare și asigurarea controlului deformațiilor funcție de tipul solicitării;
- efectuarea încercărilor propriu-zise, înregistrarea și prelucrarea rezultatelor.

Numărul piloților de probă se stabilesc în funcție de:

- numărul total al piloților din lucrare;
- mărimea suprafeței ocupate de lucrare;
- uniformitatea stratificației terenului;
- gradul de cunoaștere a amplasamentului.

În cazul lucrărilor cu număr redus de piloți (sub 20 piloți), se admite ca încercările să se efectueze pe piloți care rămân în lucrare, cu condiția limitării sarcinii maxime aplicate pilotului la valoarea celei din încărcările de calcul, în gruparea cea mai defavorabilă.

Încercarea piloților de probă se face după atingerea rezistenței proiectate a betonului.

Efectuarea încercărilor statice se efectuează cu ajutorul:

- dispozitivelor de lestare sau ancorare;
- preselor și pompelor hidraulice;
- cadrelor de referință;
- dispozitivelor de măsurare a deformațiilor.

Dispozitivele de lestare sunt alcătuite din platforme metalice, pe care se așează greutățile necesare, iar transmiterea încărcării pe capul pilotului se face (de preferință) cu ajutorul preselor hidraulice.

Dispozitivele de ancorare sunt alcătuite din grinzi sau cruci metalice(dimensionate corespunzător), introduse în teren în jurul pilotului de probă la distanța minimă (ax element ancoraj - ax pilot) de 2m, dacă $d\leq 0,60m$ și peste 2,0m, dacă $d\geq 0,60m$ și $l=3d$.

Elementele de ancoraj nu vor pătrunde în teren sub cota vârfului pilotului.

Presele hidraulice au secțiunea pistonului etalonată și sunt prevăzute cu manometre ce înregistrează intensitatea forței aplicate cu o eroare de sub 10%.

Cadrele de referință sunt confecționate din țevi sau profile metalice fixate în teren la distanțele menționate

pentru dispozitivele de ancorare şi constituie repere pentr măsurarea deplasărilor pilotului încercat.

Dispozitivele de măsurare a deformaţiilor trebuie s asigure o precizie de 0,1mm.

Metodologiile de lucru utilizate pentru încercarea static a piloţilor funcţie de tipul solicitării, sunt descrise î continuare.

Încercarea statică de compresiune urmăreşte stabilire tasării „s" a pilotului sub acţiunea încărcărilor verticale c se aplică în trepte, valoarea încărcărilor crescând progresi de la o treaptă la alta şi rămânând constantă pe durat fiecărei trepte de încărcare.

Încercarea statică se efectuează fără întreruper admiţându-se în mod excepţional întreruperea observaţiilo doar pe timpul nopţii, când se menţine constantă încărcarea p pilot.

Pentru încărcarea statică la compresiune a piloţilor d probă se poate utiliza varianta cu platformă de lestare, fig 1.57 sau varianta cu piloţi de ancoraj, fig. 1.58.

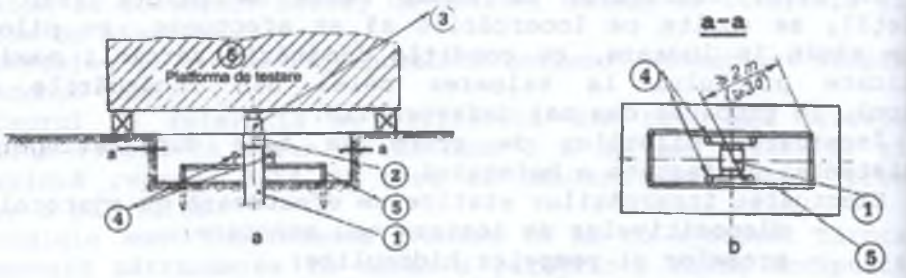


Fig. 1.57. Schema încercării statice la compresiune a piloţilor de probă î varianta cu platformă de testare.
1. pilot de probă; 2. căciulă de protecţie; 3. presă hidraulic 4. aparate pentru măsurarea tasării pilotului; 5. cadru metalic d referinţă; 6. platformă de lestare.

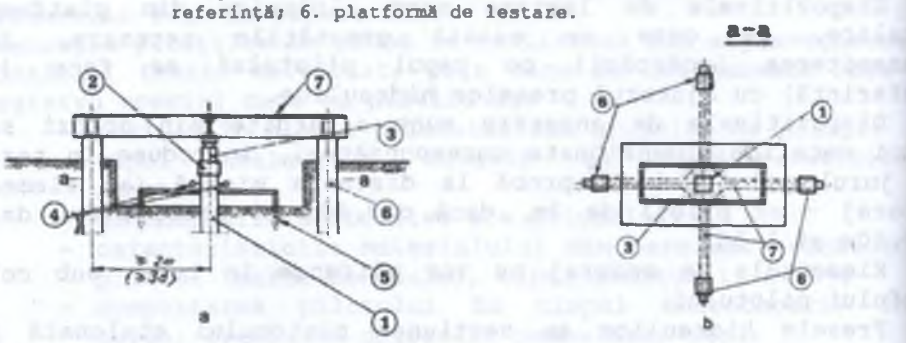


Fig. 1.58. Schema încercării statice la compresiune a piloţilor de probă î varianta cu piloţi de ancoraj.
1. pilot de probă; 2. căciulă de protecţie; 3. presă hidraulic 4. aparate pentru măsurarea tasării pilotului; 5. cadru metalic d referinţă; 6. pilot de ancoraj; 7. cruce din profile metalice.

Încărcarea pilotului se face în trepte de (50-500)kN, respectiv $\left(\frac{1}{15}-\frac{1}{10}\right) P_{cr.prez.}$, fiecare treaptă se menţine până la stabilizarea deplasării pilotului.

Se admite că s-a atins faza de stabilizare a tasării atunci când diferenţa tasărilor medii înregistrate la patru intervale de citiri consecutive de 30 minute nu depăşeşte 0,1mm.

Punctele de măsurare a tasării pilotului vor fi cel puţin trei, dispuse necoliniar în jurul pilotului, de regulă în acelaşi plan orizontal.

Citirile deplasărilor verticale în punctele de măsurare, se fac pentru fiecare treaptă de încărcare la intervale de 15 min. în prima oră, respectiv de 30 min. în rest până la stabilizarea tasării pilotului şi nu trebuie să se abată de la valoarea medie s_m cu peste:

- 50% pentru s_m<1mm;
- 30% pentru s_m=(1-5)mm;
- 20% pentru s_m>5mm.

După normele britanice tasarea pilotului se consideră stabilizată dacă deplasarea verticală scade sub 0,1mm în 20 min., iar după normele americane la atingerea vitezei de deplasare de 0,305 mm/oră sau cumularea a 2 ore de la aplicarea treptei de încărcare.

Încărcarea pilotului de probă se face în trepte, după cum urmează:

- până la atingerea încărcării de rupere atunci când se are în vedere stabilirea capacităţii portante critice a pilotului în conlucrare cu terenul;
- până la atingerea unei încărcări pe pilot de cel puţin (1,5-2) ori sarcina de serviciu, pentru capacităţi portante critice mari;
- până la limita încărcărilor de serviciu, atunci când piloţii rămân în lucrare;
- până la limita unor deformaţii (deplasări orizontale, deplasări verticale, rotiri) admise.

Încărcarea de rupere pe pilot P_r se defineşte ca fiind încărcarea pentru care este satisfăcută una din condiţiile:

- tasarea medie s_m depăşeşte $\frac{1}{10}$ din diametrul (latura) pilotului;
- pe durata a 24 de ore de la aplicarea încărcării nu se respectă condiţia de stabilizare a tasării.

Încărcarea critică pe pilot P_{cr} se defineşte ca fiind încărcarea cea mai mare pentru care condiţia de stabilizare a tasării este respectată.

După atingerea încărcării maxime pe pilot se procedează la descărcarea în trepte a acestuia, urmărindu-se măsurarea tasării fiecărei trepte la cel puţin patru intervale de 15 min., iar după descărcarea totală citirile se fac timp de cel puţin 2 ore.

Cu ajutorul datelor obţinute pe piloţi de probă se întocmesc grafice diagramă, fig. 1.59, privind:

- variaţia încărcării în raport cu timpul (P - t);
- variaţia tasării în raport cu timpul (s - t);
- variaţia tasării stabilizate în raport cu încărcarea (s - P).

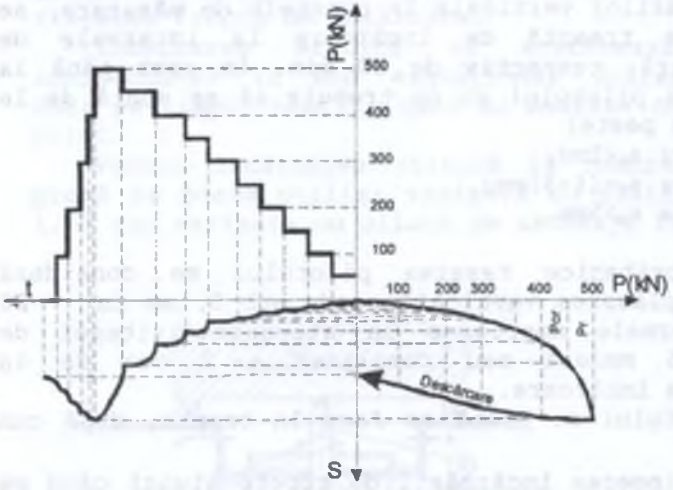


Fig. 1.59. Diagrama încercării la compresiune a pilotului de probă.

Încercarea statică la smulgere are ca obiectiv stabilirea deplasărilor verticale ale piloţilor sub acţiunea încărcărilor verticale de smulgere, aplicate în trepte de (10-50)kN sau aproximativ $\left(\frac{1}{15}-\frac{1}{10}\right)P_{cr.prez.}$.

Transmiterea încărcării se face axial, prin intermediul unei grinzi metalice acţionate hidraulic cu ajutorul a două prese dispuse ca în fig. 1.60.

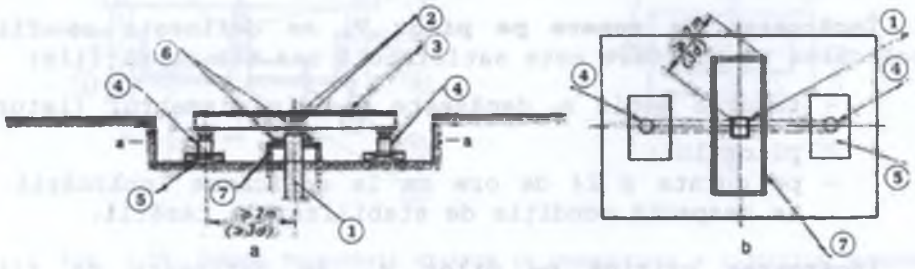


Fig. 1.60. Schema încercării statice la smulgere a piloţilor de probă.
1-pilot de probă; 2-armătură pilot; 3-grindă metalică; 4-presă hidraulică; 5-suport presă; 6-aparate pentru măsurarea deplasării pilotului; 7- cadru metalic de referinţă.

Forţa critică de smulgere a pilotului $P_{cr.sm.}$ reprezintă încărcarea maximă pentru care s-a obţinut condiţia de stabilizare a deformaţiilor precizată în cazul piloţilor încercaţi la compresiune.

Măsurarea deplasării pilotului pe trepte de încărcare se face similar prevederilor arătate la încercarea precedentă.

Dacă prin mijloacele tehnice disponibile nu se poate atinge forţa critică de smulgere, încercarea pilotului se face la cel puţin dublul forţei de smulgere proiectate.

Încercarea pilotului se derulează până la înregistrarea unor deplasări verticale nestabilizate, urmate de micşorarea rezistenţei la smulgere, iar pe baza rezultatelor obţinute se întocmeşte diagrama de variaţie în timp a forţei de smulgere (P_{sm}) şi a deplasării pilotului (Δ), ca în fig. 1.61.

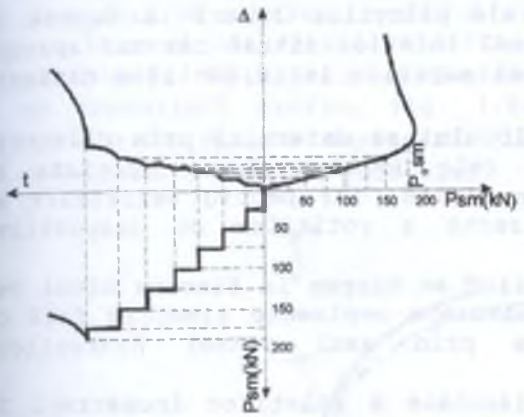


Fig. 1.61. Diagrama încercării la smulgere a pilotului de probă.

Încercarea cu forţe orizontale stabileşte deplasările şi rotirile capetelor piloţilor în raport cu poziţia verticală, datorită acţiunii progresive a unor forţe orizontale.

Funcţie de obiectivul principal urmărit, capul piloţilor încercaţi va fi:

- liber, dacă se urmăreşte determinarea caracteristicilor de deformare ale terenului în conlucrare cu piloţii;
- încastrat într-un radier din beton armat de rigiditate apropiată cu cea a elementului corespunzător din construcţia proiectată, atunci când se urmăreşte stabilirea modului de conlucrare piloţi-fundaţia propriu-zisă.

Schema de încercare a piloţilor cu capul liber este prezentată în fig. 1.62, urmărindu-se măsurarea deplasărilor orizontale şi rotirea θ_0 a capului pilotului.

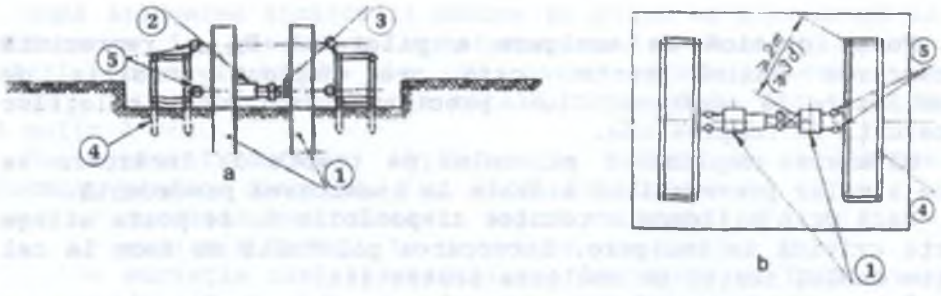


Fig. 1.62. Schema de încercare a piloţilor de probă cu capul liber.
a. vedere laterală;
b. vedere de sus:
1-pilot de probă; 2-presă hidraulică; 3-prelungitor; 4-cadru de referinţă; 5-aparat pentru măsurarea deplasărilor şi rotirii pilotului.

Deplasările orizontale ale piloţilor liberi la capete se măsoară la două niveluri, unul inferior situat cât mai aproape de nivelul terenului, iar cel superior la (0,80-1,0)m distanţă faţă de primul nivel.

Rotirea θ_0 a capului pilotului se determină prin diferenţa deplasărilor orizontale la cele două niveluri raportate la distanţa dintre punctele de citire, iar pentru verificare se recomandă şi măsurarea directă a rotirilor cu dispozitive speciale.

Pentru realizarea citirilor se dispun la fiecare nivel cel puţin două dispozitive de măsurare amplasate simetric faţă de planul vertical ce trece prin axul presei hidraulice, fig. 1.62.

Încercarea cu forţe orizontale a piloţilor încastraţi în radier este prezentată schematic în fig. 1.63, încărcarea orizontală fiind aplicată cât mai aproape de talpa radierului.

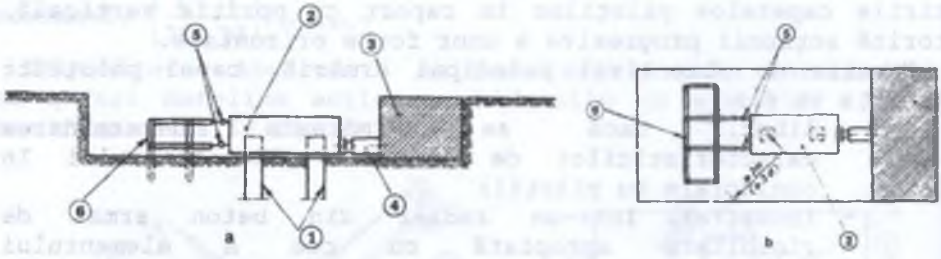


Fig. 1.63. Schema de încercare cu forţe orizontale a piloţilor încastraţi în radier.
a. vedere laterală;
b. vedere de sus;
1-piloţi de probă; 2-grindă de solidarizare a capetelor piloţilor; 3-reazem din beton; 4-presa hidraulică; 5-aparate pentru măsurarea deplasărilor; 6-cadru metalic de referinţă.

Deplasările orizontale se măsoară la nivelul elementului de beton armat ce solidarizează capetele piloţilor, pe două niveluri, cu ajutorul a cel puţin patru dispozitive de

măsurare dispuse simetric față de planul vertical ce trece prin axul presei, fig. 1.63.

Încărcarea cu forțe orizontale a piloților de probă în ambele situații ale capului, se aplică în trepte de (5-50) kN, respectiv $\left(\frac{1}{15}-\frac{1}{10}\right)P_{cr.prez.}$, iar măsurarea deplasărilor și rotirilor se efectuează până la atingerea fazei de stabilizare.

Încărcarea în trepte a piloților se consideră atinsă în momentul apariției unor deplasări orizontale nestabilizate și reducerea rezistenței opuse de piloți.

Forța critică orizontală $P_{crt.or.}$ este determinată de treapta de încărcare maximă la care s-a produs stabilizarea deplasărilor, fără însă a depăși încărcarea căreia îi corespunde o deplasare orizontală de 25mm măsurată la cel mult 10cm față de nivelul terenului din dreptul pilotului.

În urma măsurătorilor efectuate, sistematizate tabelar, se calculează deplasările orizontale la nivelul terenului $\Delta_{or.0}$ și se reprezintă grafic, fig. 1.64, variația în timp a forței orizontale $P_{or.}$, a deplasării la nivelul terenului $\Delta_{or.0}$ și a rotirii θ_0 a capului pilotului.

Fig. 1.64. Diagrama încercării la forțe orizontale a piloților de probă.

Pentru controlul execuției și a capacității portante a piloților definitivi din fundațiile construcțiilor, încercările statice efectuate conform celor prezentate vor avea în vedere ca forța maximă aplicată pilotului să nu depășească:

- valoarea de calcul a efortului considerat prin proiect;
- 50% din valoarea de proiect a efortului normat pe pilot, în cazul încărcărilor verticale;

- 25% din valoarea de proiect a efortului normat pe pilot, în cazul încărcărilor orizontale.

Comportarea piloţilor sub încărcări depinde de rezistenţa materialului din care este alcătuit corpul pilotului şi de caracteristicile mecanice ale pământului de pe amplasament.

Din acest considerent, pentru încărcări verticale de compresiune, dependenţa **forţă aplicată - tasare înregistrată** poate încadra comportarea piloţilor în diverse cazuri ce vor fi prezentate în continuare.

Cazul 1 reprezintă situaţia piloţilor purtători pe vârf, care transmit încărcarea preluată unui strat de pământ foarte tare, iar straturile de pământ străbătute nu opun rezistenţă tendinţei de deplasare laterală, fig. 1.65.

Comportarea piloţilor în această situaţie este caracteristică elementelor liniare zvelte solicitate la compresiune cu flambaj.

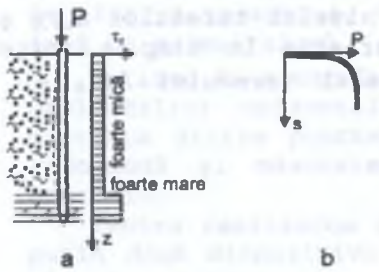


Fig. 1.65. Pilot purtător pe vârf ce străbate straturi cu rezistenţe laterale nesemnificative.
a. distribuţia eforturilor unitare tangenţiale în lungul pilotului;
b. diagrama încărcare-tasare (P-s).

Cazul 2 este caracteristic piloţilor ce străbat straturi ce opun rezistenţă laterală scăzută, iar vârful acestuia pătrunde într-un strat cu rezistenţă ridicată.

Creşterea încărcării pe pilot conduce la ruperea prin forfecare a stratului portant, fără a se produce rupturi în straturile superioare.

Capacitatea portantă a stratului inferior, determină tasări reduse sub vârful pilotului astfel încât gradul de mobilizare a frecărilor laterale în lungul pilotului este scăzut.

Distribuţia eforturilor unitare tangenţiale în lungul pilotului şi alura diagramei încărcare-tasare (P-s) pentru acest mod de comportare a pilotului, este prezentată în fig. 1.66.

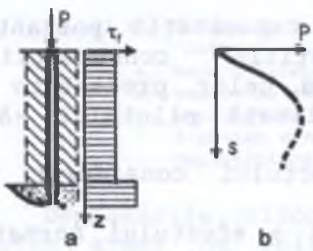


Fig. 1.66. Pilot purtător pe vârf ce străbate straturi cu rezistenţă laterală scăzută.
a. distribuţia eforturilor unitare tangenţiale în lungul pilotului;
b. diagrama încărcare-tasare (P-s).

Cazul 3 este reprezentat de piloţii ce străbat straturi de pământ cu rezistenţă laterală relativ uniformă în lungul pilotului, fig. 1.67a, iar creşterea încărcării poate determina o rupere prin străpungere a pământului.

Încărcarea aplicată pe pilot va fi preluată în acest caz prin frecările laterale şi rezistenţa pe vârf, iar ruperea pământului prin străpungere nu este evidentă, fapt ilustrat pe diagrama încărcare-tasare (P-s) din fig. 1.67b, care marchează lipsa tangentei la curbă.

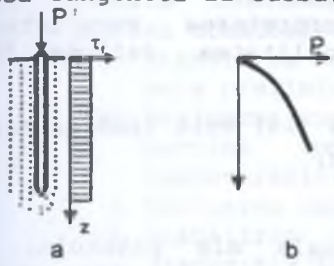


Fig. 1.67. Pilot ce străbate straturi de pământ cu rezistenţă laterală relativ uniformă.
a. distribuţia eforturilor tangenţiale în lungul pilotului;
b. diagrama încărcare-tasare (P-s).

Cazul 4 este specific piloţilor ce se opresc într-un strat de pământ compresibil, situaţie de evitat în practică.

În acest caz, încărcarea aplicată pe pilot este preluată în totalitate numai prin frecările laterale, fiind neglijată rezistenţa pe vârf, fig. 1.68a.

Tangenta verticală admisă de curba P-s, marchează sarcina corespunzătoare mobilizării totale a frecărilor laterale, fig. 1.68b.

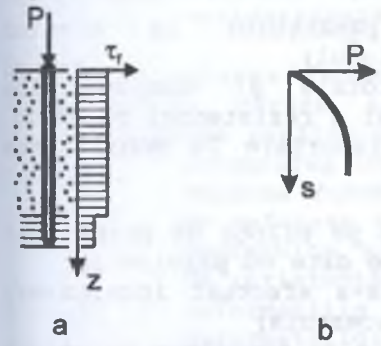


Fig. 1.68. Pilot cu vârful oprit într-un strat de pământ compresibil.
a. distribuţia frecărilor laterale în lungul pilotului;
b. diagrama încărcare-tasare (P-s).

Cazul 5 se referă la piloţii încercaţi la smulgere, fig. 1.69a pentru care rezistenţa pe vârf este nulă, iar diagrama încărcare-tasare (P-s) are alura cazului 4, fig. 1.69b.

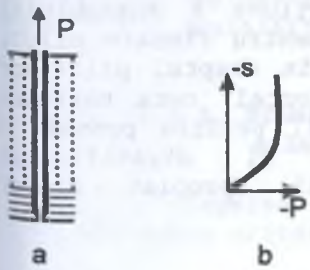


Fig. 1.69. Influenţa stratificaţiei pământului asupra comportării piloţilor solicitaţi la smulgere.
a. distribuţia frecărilor laterale în lungul pilotului;
b. diagrama încărcare tasare.

Alte căi de stabilire a încărcării critice în cazul pământurilor ce nu au o comportare vâscoasă se bazează pe legătura dintre scurtarea elastică şi forţa ce acţionează pilotul.

Încercare ciclică cu forţe de compresiune a piloţilor, permite separarea şi evidenţierea tasării elastice şi a celei permanente sau plastice.

În cazul piloţilor ce străbat orizonturi de pământ cu o comportare puternic vâscoasă, interpretarea rezultatelor obţinute se bazează pe proporţionalitatea deformaţiilor vâscoase cu $\log(1+\eta\sqrt{t})$ (14).

Semnificaţia termenilor din relaţia (14) este următoarea:

η - coeficient de vâscozitate;

t - timpul.

Înregistrarea deplasărilor verticale ale pilotului ca urmare a comprimării corpului acestuia, pot fi obţinute cu ajutorul unor repere instalate în lungul pilotului.

Procedeul este frecvent aplicat piloţilor executaţi pe loc, iar în urma prelucrării rezultatelor cu privire la:

- deplasările verticale la diferite adâncimi;
- deformaţiile specifice în lungul fişei pilotului;
- forţa axială în corpul pilotului;
- efortul tangenţial mobilizat pe suprafaţa laterală,

se obţin informaţii legate de:

- mobilizarea rezistenţei pământului la nivelul suprafeţei de contact cu pilotul;
- variaţia forţei axiale totale şi componentelor datorate frecării laterale şi a rezistenţei pe vârf;
- evoluţia tasării relative raportate la mobilizarea rezistenţei pe vârf.

Rezultatele încercărilor efectuate pe piloţi de probă sunt consemnate într-un referat care conţine date cu privire la:

- contractul în baza căruia s-a efectuat încercarea, obiectivul şi beneficiarul acestuia;
- condiţiile de teren şi fişele cu sondajele apropiate piloţilor de probă;
- piloţii de probă (consemnate în registrul de şantier);
- dispoziţia în plan şi în secţiune a ansamblului pilot-dispozitiv de încercare pentru fiecare pilot, cu precizarea cotei terenului în dreptul piloţilor cota punctelor de aplicare a forţei, cota vârfului pilotului, cota bazei pilotului, poziţia presei, a dispozitivelor de măsurare şi stratificaţia terenului aferentă celui mai apropiat sondaj efectuat;

- descrierea procedeului de lucru;
- tabele şi grafice privind rezultatele obţinute;
- concluzii desprinse şi recomandări pentru proiectare.

1.4.2. Etapele proiectării fundaţiilor pe piloţi

Având cunoscute elementele precizate la subpunctul 1.4.1, proiectarea sistemului de fundare pe piloţi presupune parcurgerea următoarelor etape de lucru:

1. Stabilirea categoriei pilotului şi a dimensiunilor sale preliminare;
2. Evaluarea capacităţii portante a pilotului izolat la sarcini axiale de compresiune, smulgere şi transversale;
3. Evaluarea capacităţii portante a grupei de piloţi;
4. Stabilirea preliminară a numărului de piloţi, dispoziţia în plan şi orientarea acestora;
5. Determinarea încărcării de calcul ce revine unui pilot din cadrul grupei de piloţi;
6. Calculul tasării pilotului izolat, lucrând în grup şi a grupei de piloţi;
7. Verificarea piloţilor şi a grupei de piloţi la criteriile impuse de calculul la starea limită de capacitate portantă (SLCP) şi de deformaţie (SLD);
8. Calculul şi alcătuirea radierului ce leagă şi solidarizează capetele piloţilor.

Proiectarea fundaţiilor pe piloţi şi a structurilor în componenţa cărora acestea intră, trebuie să conducă la îndeplinirea următoarelor condiţii:

- asigurarea unui coeficient de siguranţă în raport cu ruperea funcţie de importanţa lucrării, cheltuielile de refacere în caz de rupere, calitatea informaţiilor geotehnice şi hidrogeologice, comportarea structurii de rezistenţă, modul de transmitere a încărcărilor;
- deformaţiile efective ale suprastructurii datorate deformaţiilor terenului de fundare să se încadreze în limitele celor admisibile;
- încărcările de calcul ale piloţilor să nu depăşească capacitatea lor portantă;
- deplasările probabile ale terenului să nu depăşească deplasările de referinţă.

1.4.2.1. Stabilirea categoriei pilotului şi a dimensiunilor sale preliminare

La alegerea tipului de pilot se vor avea în vedere următoarele criterii:

- natura terenului de fundare;
- încărcarea transmisă pilotului de suprastructură;
- date privind construcţia proiectată (tipul, alcătuirea constructivă, deformaţiile admisibile);
- condiţiile specifice amplasamentului (vecinătăţi, instalaţii subterane, etc.);
- lungimea necesară pilotului;
- nivelul apelor subterane şi variaţia acestuia în timp;
- agresivitatea apelor subterane;
- utilajele specializate şi tehnologiile de lucru disponibile;
- viteza de execuţie;
- informaţii şi observaţii locale privind comportarea unor construcţii similare fundate pe acelaşi tip de piloţi.

Stabilirea categoriei pilotului se face în urma analizei tehnico-economice a variantelor posibile.

Forma secţiunii transversale şi în elevaţie a pilotului se stabileşte în funcţie de tehnologia de lucru adoptată la realizarea sa.

Dimensiunile secţiunii transversale rezultă din considerente tehnologice şi se definitivează în urma calculului efectuat la solicitările maxime în lungul fişei pilotului datorate încărcărilor (de calcul) în gruparea cea mai defavorabilă şi având în vedere rezistenţele de calcul ale materialelor ce intră în componenţa pilotului.

După modul de transmitere la teren a încărcărilor ce revin piloţilor, lungimea acestora se determină funcţie de:

- adâncimea la care este situat stratul de pământ practic incompresibil, în cazul piloţilor purtători pe vârf;
- adâncimea până la care prin efectul combinat al frecării laterale şi a rezistenţei în planul bazei, pilotul transmite la teren încărcarea axială care-i revine, în cazul piloţilor flotanţi;
- asigurarea condiţiei de încastrare în teren, în cazul piloţilor încărcaţi cu forţe orizontale.

La stabilirea lungimii piloţilor se va ţine seama şi de performanţele instalaţiilor specializate de introducere în teren, existente în dotarea unităţilor de profil.

Carcasa de armătură, în cazul piloţilor armaţi, rezultă în urma calculului de rezistenţă a elementului din beton armat la solicitarea respectivă sau din considerente constructive.

La alcătuirea piloţilor, indiferent de categoria din care aceştia fac parte, se vor respecta prevederile referitoare la elementele din beton armat în general şi la elementele fişate în mod special.

1.4.2.2. Capacitatea portantă a piloţilor izolaţi şi a grupelor de piloţi

Capacitatea portantă a unui pilot se defineşte ca fiind forţa ce poate fi preluată de acesta astfel încât deformaţiile şi eforturile ce apar în corpul pilotului izolat sau lucrând în grup să nu conducă la depăşirea stării normale de exploatare, a condiţiei de siguranţă şi durabilitate a construcţiei.

Capacitatea portantă a pilotului depinde de natura terenului de fundare, de dimensiunile geometrice şi caracteristicile de rezistenţă ale materialelor din care pilotul este realizat.

În continuare se va prezenta evaluarea capacităţii portante a piloţilor izolaţi şi lucrând în grup.

1.4.2.2.1. Capacitatea portantă a piloţilor izolaţi

După natura solicitării, capacitatea portantă a piloţilor se va determina pentru compresiune, smulgere şi la forţe orizontale.

Comportarea sub încărcare a piloţilor şi modalitatea de stabilire a capacităţii portante funcţie de tipul solicitării se va prezenta distinct în cele ce urmează.

1.4.2.2.1.1. Determinarea capacităţii portante a unui pilot solicitat la compresiune

Pornind de la definiţia capacităţii portante prezentate la punctul 1.4.2.2, forţa axială de compresiune ce poate fi preluată de pilot nu trebuie să conducă la:

a. pierderea stabilităţii prin flambaj;
b. cedarea terenului în prezenţa căruia lucrează pilotul.

a. Pierderea stabilităţii prin flambaj a pilotului se poate produce atunci când forţa axială de compresiune ce revine pilotului depăşeşte în intensitate o anumită valoare denumită critică P_{cr}.

Acest fenomen este specific piloţilor ce străbat straturi de pământ cu caracteristici mecanice slabe (care opun rezistenţă laterală redusă), iar vârful pătrunde şi reazemă într-un strat cu rezistenţe mecanice ridicate, considerat practic incompresibil, fig. 1.70.

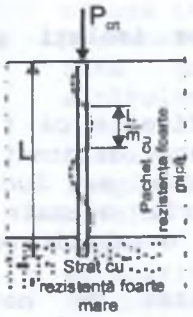


Fig. 1.70. Pierderea stabilității prin flambaj a piloților.

Pentru stabilirea încărcării critice a piloților se pleacă de la relația Euler, specifică barelor elastice comprimate cu deplasare laterală liberă:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \cdot m^2; \qquad (15)$$

la care se adaugă influența rezistenței laterale opusă de terenul din jur.

Astfel, Timoşenko propune în cazul piloților ce străbat orizonturi de teren ca în fig. 1.70, relația de calcul a încărcării critice de forma:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}\left(m^2 + \frac{B}{m^2}\right); \qquad (16)$$

Semnificația termenilor din relațiile (15); (16), sunt după cum urmează:

L - lungimea totală a pilotului (fig. 1.70);

EI - rigiditatea la încovoiere a barei elastice cu deplasarea laterală liberă (relația (15), respectiv a pilotului (16);

M - numărul de semiunde sinusoidale pe lungimea L a pilotului (fig. 1.70);

$$B = \frac{\bar{K}_0 \cdot L}{\pi^4 EI}; \qquad (17)$$

$\bar{K}_0 = K_0.d$ - coeficient de reacțiune după orizontală, considerat pe întreaga lățime a pilotului;

K_0 - coeficient de pat după direcția orizontală;

d - diametrul pilotului.

Forța critică minimă ($P_{cr.min}$) se obține pentru un munăr de semiunde $m = \sqrt[4]{B}$ şi are expresia:

$$P_{cr.min} = \frac{2\pi^2 EI}{L^2}\sqrt{B} = 2\sqrt{K_0 EI} \qquad (18)$$

În cazul piloților ce traversează straturi de argile moi, rezultatele experimentale efectuate pe prototipuri şi modele

au condus la următoarea relaţie pentru determinarea încărcării critice:

$$P_{cr} = (8-10)\sqrt{\mu \cdot c_u \cdot EI}\ ; \qquad (19)$$

în care:

μc_u - semnifică rezistenţa tangenţială pe suprafaţa de contact pilot-teren.

În cazul fundaţiilor pe piloţi cu radier înalt, trebuie efectuată verificarea la flambaj individual al piloţilor, considerând pilotul încastrat în teren la o adâncime „l_0" sub nivelul terenului stabil.

Semnificaţia şi valorile termenului l_0 sunt prezentate la punctul 1.4.2.2.1.3.

b. Cedarea terenului în prezenţa căruia lucrează pilotul trebuie evitată pe întreaga durată de viaţă a construcţiei, prin limitarea încărcării admisibile pe pilot la valori care să nu conducă însă nici la pierderea stabilităţii sau depăşirea rezistenţei materialului din care acesta este realizat.

Încărcarea maximă de compresiune corespunzător căreia sunt îndeplinite condiţiile a, b, reprezintă încărcarea critică P_{cr} şi poate fi determinată în următoarele moduri:

1. pe baza rezultatelor obţinute în urma încercărilor statice şi dinamice pe piloţi de probă;
2. prin utilizarea rezultatelor de laborator privind caracteristicile fizico-mecanice ale pământului în care lucrează pilotul, în relaţii teoretice de calcul a rezultantei frecării laterale şi a rezistenţei pe vârf;
3. cu ajutorul unor relaţii empirice stabilite pe baza experienţei dobândite în practica utilizării piloţilor.

1. Determinarea încărcării critice P_{cr} pe baza rezultatelor obţinute în urma încercărilor statice şi dinamice pe piloţi de probă.

1.a. În cazul încercărilor statice efectuate pe piloţi de probă, prelucrarea rezultatelor privind dependenţa încărcare-tasare (P-s) stabilesc direct sarcina critică P_{cr}, pe baza criteriilor prezentate la punctul 1.4, subpunctul 1.4.1 - aliniatul e_2.

Încercările statice pe piloţi de probă pot fi înlocuite cu **probele de penetrare** care dau rezultate foarte bune iar costurile sunt mult mai reduse datorită dimensiunilor reduse ale aparatului utilizat.

Aparatul de penetrare, denumit penetrometru este alcătuit conform fig. 1.71 dintr-un tub metalic ① ce se termină la un capăt sub formă conică ce formează vârful ②. În interiorul tubului se introduce o tijă ③ cu ajutorul căreia se manevrează conul ce este protejat la partea superioară cu un apărător ④ care împiedică pătrunderea pământului între tub şi vârf.

În componenţa aparatului mai intervine un dispozitiv pentru introducerea tubului şi conului în teren, de obicei o presă hidraulică şi un manometru pentru măsurarea presiunii.

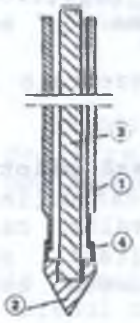


Fig. 1.71. Alcătuirea penetratorului cu manta.
1-tub metalic; 2-vârf conic; 3- tijă; 4-apărător.

Pentru măsurarea presiunii totale necesară pătrunderii în teren, tubul şi vârful sunt manevrate împreună, iar pentru a stabili separat presiunea necesară pătrunderii vârfului şi a tubului în teren, acestea sunt manevrate independent.

Cu ajutorul diagramelor întocmite, având pe abscisă presiunea măsurată şi pe ordonată adâncimea corespunzătoare, se poate stabili o anumită corespondenţă între datele obţinute prin încercare statică şi cele obţinute prin penetrare,

Probele de penetrare sunt utilizate cu rezultate bune până la adâncimi de aproximativ 25m.

1.b. Rezultatele încercărilor dinamice conduc la stabilirea încărcării critice pe pilot pe baza unor formule de calcul denumite formule de batere. Acestea fac legătura între încărcarea critică denumită capacitatea portantă ultimă şi rezistenţa opusă la batere de către pilot.

Formulele de batere admit simplificări legate de natura pământului, a materialului din care este realizat pilotul, de transferul sarcinii berbec-pilot-teren, funcţie de caracteristicile pământului la solicitări statice şi dinamice.

Stabilirea capacităţii portante ultime pe baza încărcării critice determinată cu ajutorul formulelor de batere constituie un mijloc de verificare şi eventual corectare a rezultatelor obţinute pe alte căi în scopul apropierii lor de realitate.

Formulele de batere au diverse expresii după principiul ce stă la bază, astfel:

- **Formula News Engineering** se bazează pe transferul integral al energiei berbecului către pilot

$$P_{cr} = Q.H/(e + 0,5r); \qquad (20)$$

unde:

Q - greutatea berbecului;
H - înălţimea de cădere a berbecului;
e - refuzul pilotului;
r - revenirea elastică a pilotului.

Pentru exprimarea în [mm] a înălţimii H şi a refuzului pilotului e, mărimea 0,5r se estimează conform [2] la valorile:
25mm pentru berbeci cu cădere liberă;
2,5mm pentru berbeci cu simplă acţiune.

- **Formula Hiler** are în vedere pierderile de energie în procesul de batere prin impactul şi comprimarea sistemului de protecţie a capului pilotului, a pilotului şi terenului din jur

$$P_{cr} = \frac{QH}{e+0,5r} \cdot \eta; \qquad (21)$$

unde:

Q, H, e, r - au semnificaţia din relaţia (20);

$$\eta = \alpha(Q+\beta^2 q)/(Q+q); \qquad (22)$$

$$r = r_{pp} + r_p + r_t; \qquad (23)$$

iar:

r_{pp} - revenirea elastică a protecţiei corpului pilotului ce depinde de soluţia acceptată, natura materialului din care este realizat pilotul şi efortul de batere;

r_p, r_t - revenirea pilotului respectiv a terenului, ce pot fi măsurate pe baza înregistrării grafice descrise pe o hârtie ataşată pilotului de către un creion anexat unui sistem independent de rezemare;

α - coeficient subunitar ce ţine seama de pierderile de energie datorate frecărilor ce apar în sistemul de batere;

β - coeficient de restituire a energiei prin ciocnire berbec-pilot;

α, β - coeficienţi redaţi în tabelul 1.1 şi 1.2;

q - greutatea pilotului, a căciulii de protecţie şi a părţi staţionare a berbecului [kN].

Valorile coeficientului α **Tabelul 1.1.**

Tipul şi modul de acţionare al berbecilor	Valoarea lui α
Berbec cu cădere liberă operând prin deblocarea trăgaciului.	1,0
Berbec cu cădere liberă operând urmare a slăbirii unui blocaj tip gheară cu ajutorul frânghiei sau lanţului.	0,8
Berbec cu acţiune mecanică simplă sau pe bază de aer comprimat.	0,9

Valorile coeficientului β **Tabelul 1.2.**

Materialul din pilot	Condiţia privind protecţia capului	Berbeci diesel sau cu acţiune mecanică simplă	Berbeci cu acţiune dublă
Beton armat	Capişon-cască cu compoziţie de plastic sau strat de duramen verde sub acesta.	0,4	0,5
	Capişon-cască cu strat din lemn diferit de duramen.	0,25	0,4
	Berbec direct pe pilot cu strat amortizant sub nicovală.	-	0,5
Metal	Capişon standard de plastic sau cu strat de duramet.	0,5	0,5
	Capişon cu altă esenţă de lemn.	0,3	0,3
	Berbec direct pe pilot.	-	0,5
Lemn	Berbec direct pe pilot.	0,25	0,4

- **Formula conform STAS 2561/3-90**, are la bază:
  - absenţa pierderilor de energie în sistemul de batere;
  - aplicarea teoriei impactului numai în situaţia neglijării rezistenţei opuse de teren (eforturi unitare în pilot şi teren nesemnificative);
  - admiterea deformării elastice a corpurilor ce se ciocnesc după mărirea reculului înregistrat de berbec;
  - evaluarea generală a altor pierderi de energie sub forma unei cote părţi din energia aplicată de berbec.

Din egalitatea:energie aplicată=energie consumată+pierderi, rezultă în urma efectuării calculelor influenţate de diverşi coeficienţi, relaţia de calcul:

$$P_\sigma = -\frac{a \cdot A}{2} + \sqrt{\left(\frac{a \cdot A}{2}\right)^2 + \frac{a \cdot A}{e} \cdot \frac{Q_0 + 0{,}2q}{Q_0 + q} \cdot Q_0 H_0} \; ; \qquad (24)$$

în care:

a - coeficient funcţie de tipul pilotului şi condiţiile de batere, se exprimă[kPa], având valorile din tabelul 1.3;

A - aria secţiunii pilotului [m^2];

e - refuzul pilotului [cm];

Q - greutatea berbecului [kN];
q - greutatea pilotului, a căciulii de protecţie şi a părţii staţionare a berbecului [kN];
H_0 - înălţimea de cădere a berbecului [cm], exprimată prin relaţiile:

$H_0 = H_1$ (25) - pentru piloţii verticali şi berbec cu cădere liberă sau acţiune simplă;

$H_0 = 0,8H_1$ (26) - pentru piloţi înclinaţi şi berbec cu cădere liberă sau acţiune simplă;

$$H_0 = \frac{100E_0}{Q_0} \quad (27)$$ - pentru piloţi verticali şi berbec Diesel cu acţiune dublă;

$$H_0 = \frac{80E_0}{Q_0} \quad (28)$$ - pentru piloţi înclinaţi şi berbec Diesel cu acţiune dublă.

unde:

H_1 - mărimea cursei berbecului [cm];
E_0 - energia de lovire a berbecului [Kg].

Valorile coeficientului a **Tabelul 1.3.**

Tipul pilotului	a kPa
Pilot din beton armat (cu căciulă de protecţie)	1500
Pilot din lemn (fără căciulă de protecţie)	1000

- **Alte formule de batere**, au la bază diverse ipoteze privind evaluarea energiei consumate pentru introducerea în teren a pilotului sau a energiei pierdute în procesul de batere.

Ipotezele de calcul luate în considerare sunt strâns legate de experienţa autorilor, de condiţiile geografice ale amplasamentului şi de dispozitivele de batere utilizate, elemente ce se reflectă cu pregnanţă în valorile rezultate ale încercării critice.

În continuare sunt prezentate o serie de formule de batere conţinute în publicaţii de specialitate [1] de mare prestigiu.

Formula după CANADIAN NATIONAL BUILDING CODE
(Coeficient de asigurare C_s=3)

$$P_a = \frac{\alpha \cdot E_H \cdot r_1}{e + r_2 \cdot r_3}; \quad (29)$$

unde:

α = { 0,75 pentru berbeci cu cădere liberă;
{ 0,85 pentru restul situaţiilor.

$E_H = (Q+Q_c)\cdot H = \bar{Q}\cdot H$; (30) şi reprezintă valoarea energiei de lucru a dispozitivului de batere sau cea corespunzătoare unei înălţimi H de cădere a greutăţii $\bar{Q}$ ce însumează greutatea maiului (Q) şi a cilindrului în care culisează (Q_c).

$$r_1 = \frac{Q+0{,}5q\cdot\beta^2}{Q+q} \quad (31); \qquad r_2 = \frac{P_{cr}}{2A} \quad (32); \qquad r_3 = \frac{1}{E} + 0{,}0001 \quad (33)$$

A - aria secţiunii transversale a pilotului;
L - lungimea pilotului;
E - modulul lui Young;
e - reculul pilotului.

Observaţie:
Produsul $r_1.r_3$ se exprimă în aceleaşi unităţi de măsură ca şi refuzul pilotului „e".

Formula OLSEN şi FLAAT (1967)
(Coeficient de siguranţă C_s = 3÷6)

$$P_{cr} = \frac{\alpha\cdot E_H}{e+r_1}; \quad (34)$$

unde:

α, E_H, e - au semnificaţia anterioară;

$$r_1 = \sqrt{\frac{\alpha\cdot E_H\cdot L}{2AE}}; \quad (35)$$

Formula ETELWEIN după Chellis (1941)
(Coeficient de siguranţă C_s = 6)

$$P_{cr} = \frac{\alpha\cdot E_H}{e+0{,}1\frac{q}{Q}}; \quad (36)$$

Formula GATES (1957)
(Coeficient de siguranţă C_s = 3)

$$P_{cr} = a\sqrt{\alpha\cdot E_H(b-\log e)}; \quad (37)$$

unde:

P_{cr} [kN]; E_H [kN.m]; e [mm]; a = 104,5; b = 2,4

α = { 0,75 pentru berbeci cu cădere liberă;
0,85 pentru restul situaţiilor.

Formula JANBU.
(Coeficient de siguranţă C_s = 3÷6)

$$P_a = \frac{\alpha \cdot E_H}{K_s \cdot e}; \qquad (38)$$

unde:

$$K_s = K\left(1+\sqrt{1+\frac{\lambda}{K}}\right); \qquad (39)$$

iar:

$$K = 0{,}75 + 0{,}15\frac{q}{Q}; \qquad (40)$$

$$\lambda = \frac{\alpha \cdot E_H \cdot L}{A \cdot E \cdot l^2}; \qquad (41)$$

α = $\begin{cases} 0{,}75 \text{ pentru berbeci cu cădere liberă;} \\ 0{,}85 \text{ pentru restul situațiilor.} \end{cases}$

Formula după ENGINEERING NEWS-RECORD
(Coeficient de siguranță C_s = 6)

$$P_a = \frac{1{,}25\alpha \cdot E_H}{e+0{,}1} \cdot \frac{Q+\beta^2 q}{Q+q}; \qquad (42)$$

Formula AASHTO - recomandată pentru piloți de lemn.
(Coeficient de siguranță C_s = 6)

$$P_a = \frac{H(Q+A_m \cdot \alpha \cdot p)}{e+0{,}1}; \qquad (43)$$

în care:

α = 1

A_m - aria secțiunii transversale a maiului;

p - presiunea în cilindru de lucru pentru sonete cu dublă acțiune;

Pentru sonete cu simplă acțiune: A_m = 0; p = 0.

Formula NAVY - Mc KAY
(Coeficient de siguranță C_s = 6)

$$P_a = \frac{\alpha \cdot E_H}{e(1+0{,}3r)}; \qquad (44)$$

în care:

$$r = \frac{q}{Q}$$

Formula după PACIFIC COAST UNIFORM BUILDING CODE.
(Coeficient de siguranță C_s=4)

$$P_a = \frac{\alpha \cdot E_H \cdot r_1}{e+r_2}; \qquad (45)$$

în care:

$$r_1 = \frac{Q+\beta^2 q}{Q+q}; \qquad (46)$$

β^2 = 0,25 pentru piloți metalici;

0,10 pentru restul situațiilor.

$$r_2 = \frac{P_{cr} \cdot L}{AE}; \qquad (47)$$

1.c. **Rezultatele obținute prin încercarea de penetrare statică**, conduc la stabilirea încărcării critice pe piloți prefabricați introduși în teren prin batere, cu relația de forma:

$$P_{cr} = \frac{R_p}{2} A + F_e \frac{U}{U_p}, \quad [kN]; \qquad (48)$$

în care:

R_p - rezistența convențională pe vârful penetratorului ce se determină cu relația:

$$R_p = \frac{R_{p1} + R_{p2}}{2}, \quad [kPa]; \qquad (49)$$

R_{p1} [kPa] - media rezistențelor pe vârful penetratorului înregistrate în straturile situate de la vârful pilotului până la adâncimea 4d sub vârf, d reprezentând diametrul pilotului;

R_{p2} [kPa] - media rezistențelor pe vârful penetratorului, înregistrate de la vârful pilotului până la adâncimea βd peste vârf, β reprezentând un coeficient a cărui valoare este prezentată în tabelul 1.4;

A - aria secțiunii transversale a pilotului, exprimată în [m^2];

F_1 - forța de lunecare pe suprafața laterală a penetratorului introdus până la vârful pilotului, se exprimă în [kN];

U - perimetrul secțiunii transversale a pilotului, in [m];

U_p - perimetrul coloanei penetratorului, în [m].

Valorile coeficientului β **Tabelul 1.4.**

Tipul pilotului	α kPa
Pilot din beton armat (cu căciulă de protecție)	1500
Pilot din lemn (fără căciulă de protecție)	1000

Relația (48) este aplicabilă numai în cazul utilizării unui penetrometru static ce înregistrează o viteză de penetrare constantă pe toată adâncimea de încercare și are următoarele caracteristici:

- diametrul bazei conului, d_c = 3,6cm;
- diametrul coloanei, d_{col}= 3,6cm;
- viteza de penetrare v ≤ 3,3cm/s.

Dacă penetratorul utilizat are caracteristici diferite de cele prezentate mai sus, calculul sarcinii critice P_{cr} se poate face numai pe baza unor formule verificate în paralel pe un număr suficient de piloţi de probă.

Astfel, atunci când se dispune de înregistrări privind încercarea de penetrare dinamică sub forma unor diagrame de variaţie în raport cu adâncimea, a numărului de lovituri „N" necesar pătrunderii tubului carotier pe o adâncime de 30 cm, relaţia de calcul este de forma:

$$P_{cr} = U\Sigma p_{li}.l_i + p_v.A; \qquad (50)$$

unde:

U - perimetrul secţiunii transversale a pilotului, în [m];

p_{li} - rezistenţa unitară limită pe suprafaţa laterală a pilotului aferentă stratului i;

l_i - lungimea pilotului în contact cu stratul i;

p_v - rezistenţa unitară pe vârf;

A - aria secţiunii transversale a pilotului, exprimată în [m^2].

Rezistenţa unitară limită pe suprafaţa laterală „p_{li}" se stabileşte pentru fiecare strat „i" aflat în contact cu terenul, pe baza valorii medii a numărului de lovituri „N_i", astfel:

$$P_{li} = a.N_i; \qquad (51)$$

în care:

a - coeficient a cărui valoare este dată în tabelul 1.5 funcţie de natura pământului.

Rezistenţa unitară limită pe vârful pilotului „p_v" se determină cu relaţia (52) dacă pilotul pătrunde cu vârful în strat pe o adâncime „D", a cărui valori sunt date în tabelul 1.6, funcţie de diametrul „d" a pilotului, astfel:

$$P_v = b.N; \qquad (52)$$

în care:

b - coeficient a cărui valoare este dată în tabelul 1.5;

N - are semnificaţia numărului mediu de lovituri necesare pătrunderii tubului carotier pe o adâncime de 30cm.

Numărul mediu de lovituri „N" ce intră în relaţia (52) sunt înregistrate între planele situate deasupra şi sub vârful pilotului la distanţa βd, respectiv 4d, în care coeficientul β are valorile din tabelul 1.4.

Valorile coeficienţilor a, b **Tabelul 1.5.**

Natura pământului	a	b
Nisipuri, indiferent de gradul de îndesare.	2	300
Nisipuri argiloase şi prăfoase, prafuri nisipoase, prafuri.	4	150
Argile	5	70

Valorile adâncimii D **Tabelul 1.6.**

Natura pământului	Adâncimea de pătrundere în strat, D
Nisip afânat 0<N<10	10d
Nisip de îndesare 10<N<30	15d
Nisip îndesat 30<N<50	20d
Argile	2d
Argile nisipoase, nisipuri argiloase, pământuri prăfoase	5d

Dacă adâncimea „D" de pătrundere a vârfului pilotului în stratul de pământ este mai mică decât cea corespunzătoare tabelului 1.6, rezistenţa limită unitară pe vârf „p_v", se determină ca sumă a doi termeni astfel:

$$p_v = p_{v1} + p_{v2}; \qquad (53)$$

unde:

p_{v1} - presiunea limită unitară determinată pe baza numărului mediu de lovituri înregistrate în stratul situat deasupra celui în care se opreşte vârful pilotului;

$$p_{v_2} = \left(p_{v_{max}} - p_{v_1}\right)\frac{\overline{D}}{D^*}; \qquad (54)$$

în care:

$p_{vmax.}$- presiunea limită unitară evaluată pentru stratul de bază cu valoarea maximă a numărului de lovituri;

$\overline{D}$ - adâncimea efectivă de pătrundere a vârfului pilotului în stratul de bază;

D^* - adâncimea recomandată de pătrundere în stratul de bază a vârfului pilotului.

2. Determinarea încărcării critice prin utilizarea rezultatelor de laborator privind caracteristicile fizico-mecanice ale pământului în care lucrează piloţii.

Acest mod de calcul are la bază mobilizarea rezistenţei pe suprafaţa laterală şi pe vârful pilotului.

Componenţa încărcării critice ca rezultat al mobilizării rezistenţei pe suprafaţa laterală depinde de:

- categoria de pământ;
- mărimea şi distribuţia tensiunilor normale (σ_x) şi a deplasărilor (δ)pe suprafaţa laterală a pilotului influenţate în mare măsură de tehnologia de punere în operă, în special atunci când rezistenţa este de natura unei frecări.

Aspecte privind distribuţia tensiunilor unitare normale „σ_x" şi a deplasărilor laterale „δ" pentru diverse categorii de piloţi sunt prezentate în fig. 1.72.

Astfel:

- situaţia pământului nederanjat în care tensiunile unitare orizontale „σ_x" corespund stării de repaus (cu deplasări nule), este prezentată în fig. 1.72a;
- în cazul piloţilor prefabricaţi cu secţiune circulară constantă, deplasările laterale sunt constante pe întreaga fişă a pilotului şi asociat acestora distribuţia raportului „K" arată o creştere în raport cu adâncimea, fig. 1.72b;
- pentru piloţii prefabricaţi conici, deplasările laterale şi valorile raportului „K" descresc cu adâncimea, fig. 1.72c;
- în cazul piloţilor executaţi prin forare se constată că deplasările laterale se produc spre gaura pilotului şi descresc pe adâncime, iar eforturile untare „σ_x" descresc de asemenea în raport cu cele corespunzătoare stării de repaus.

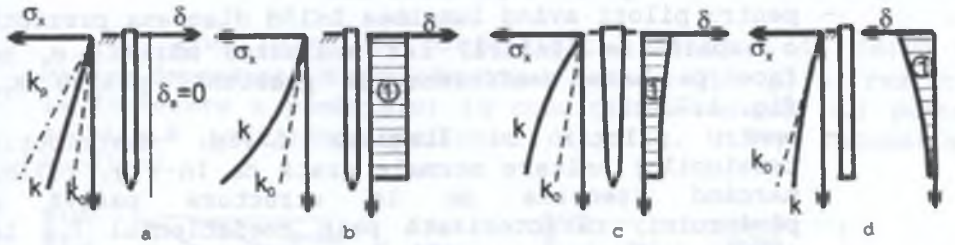


Fig. 1.72. Diagramele de distribuţie a eforturilor unitare normale şi a deplasărilor laterale din jurul diverselor categorii de piloţi.
a. situaţia pământului nederanjat;
b. cazul piloţilor cu secţiune circulară constantă;
c. cazul piloţilor conici;
d. cazul piloţilor executaţi pe loc prin forare.

Distribuţia eforturilor unitare normale în lungul fişei pilotului este prezentată în fig. 1.72 prin mărimea „K_i" care reprezintă raportul între efortul unitar orizontal σ_x şi vertical σ_z, $\left(K=\frac{\sigma_x}{\sigma_z}\right)$.

Variaţia raportului „K" este ilustrată în figura de mai sus prin comparaţie cu diagrama mărimii K_0 definită ca raportul dintre tensiunile unitare orizontale σ_x şi verticale σ_z corespunzătoare stării de repaus $\left(K_0=\frac{\sigma_{x,repaus}}{\sigma_{z,repaus}}\right)$.

Mărimea tensiunilor unitare normale σ_x depinde de sensul şi valoarea deplasărilor laterale ale pământului datorate procesului de punere în operă a piloţilor, astfel:

- pentru piloţii prefabricaţi de secţiune circulară constantă deplasările laterale „δ" sunt uniform distribuite în lungul fişei, iar valorile raportului „K" sunt superioare celor corespunzătoare stării de repaus caracterizată prin „K_0", fig. 1.72b;
- în cazul piloţilor prefabricaţi conici, diagrama deplasărilor laterale descreşte pe înălţime, iar variaţia raportului „K" are alura din fig. 1.72c, fiind superioară variaţiei raportului „K_0" ce caracterizează starea pământului nederanjat;
- în cazul piloţilor foraţi, deplasările laterale ale pământului se produc spre interiorul găurii, având diagrama de distribuţie din fig. 1.72d şi asociat acesteia variaţia raportului „K" sub valorile corespunzătoare stării de repaus.

În situaţia piloţilor prefabricaţi cu secţiune constantă introduşi în teren prin batere diagramele de distribuţie a tensiunilor unitare normale σ_x pentru diverse lungimi de piloţi sunt prezentate în fig. 1.73 şi arată că:

- pentru piloţi având lungimea L<15d diagrama prezintă o repartiţie liniară, iar evaluarea mărimii σ_x se face pe baza coeficientului presiunii pasive K_p, fig. 1.73a;
- pentru piloţii cu lungimea L>15d, distribuţia tensiunilor unitare normale arată ca în fig. 1.73b, marcând trecerea de la structura pasivă a pământului, caracterizată prin coeficientul K_p, la starea de repaus, specifică zonelor de suprafaţă sau adâncime şi caracterizate prin coeficientul K_0;
- la adâncimea L=20d, diagrama de distribuţie a tensiunilor unitare normale are în mod curent forma parabolică ce admite o tangentă la curbă paralelă cu diagrama împingerii active, caracterizată prin K_a, fig. 1.73c.

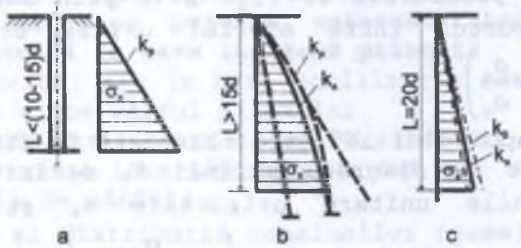


Fig. 1.73. Distribuţia tensiunilor unitare normale pe suprafaţa laterală a piloţilor prefabricaţi introduşi în teren prin batere.
a. pentru piloţi având L<(10-15)d;
b. pentru piloţi având L>15d;
c. la adâncimea L=20d.

Pământurile în prezenţa cărora lucrează piloţii, determină pe suprafaţa laterală a acestora o anumită rezistenţă, notată τ_{fl}, care se determină cu relaţiile prezentate în modurile a, b, c.

a. Dacă piloţii străbat şi lucrează în prezenţa pământurilor pur coezive, rezistenţa pe suprafaţa laterală τ_{fl}, depinde de mărimea aderenţei sau coeziunii c_a, astfel:

$$\tau_{fl} = c_a; \qquad (55)$$

După [2], mărimea c_a reprezintă o cotă parte din rezistenţa la forfecare a pământului în condiţii nedrenate, notată c_u:

$$c_a = \mu c_u; \qquad (56)$$

în care:

μ - factor de aderenţă influenţat de tipul şi starea argilei pe lungimea de contact cu pilotul.

Atunci când nu se dispune de experienţă şi date suficiente, pentru stabilirea valorii factorului μ se admite valoarea:

$$\mu=0,45, \text{ pentru } c_u<1000\text{kPa}.$$

În cazul piloţilor prefabricaţi introduşi în teren prin batere dependenţa dintre factorul de aderenţă (μ) şi rezistenţa la forfecare a pământului în condiţii nedrenate (c_u) poate fi stabilită utilizând graficele din fig. 1.74, întocmite de Nordlund.

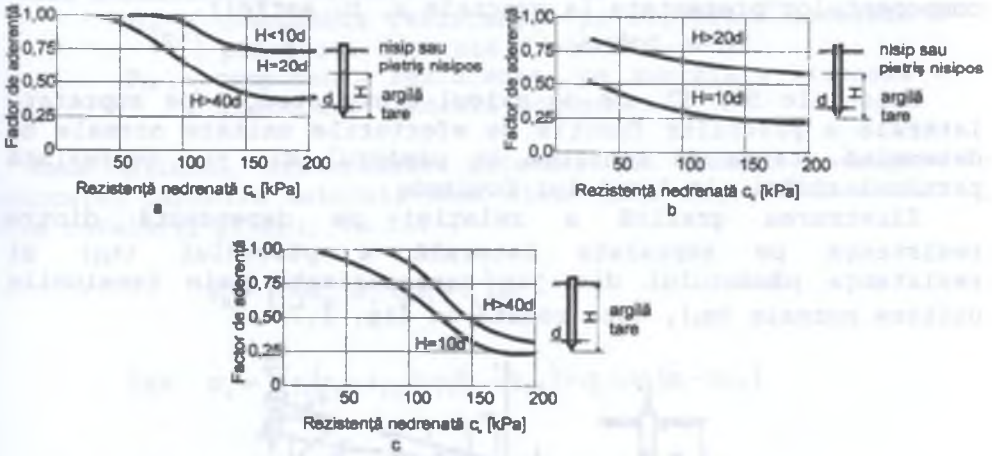


Fig. 1.74. Graficele Nordlund privind dependenţa μ-c_u.
a. pentru piloţi ce străbat straturi de nisip sau pietriş nisipos şi argilă tare;
b. pentru piloţi ce străbat straturi de argilă moale şi argilă tare;
c. pentru piloţi ce străbat un strat de argilă tare.

b. Dacă piloţii lucrează în pământuri necoezive, rezistenţa pe suprafaţa laterală se determină cu relaţia:

$$\tau_{fl} = \sigma_x . tg\delta; \qquad (57)$$

în care δ reprezintă unghiul de extindere a zonei de influenţă a pilotului, fiind dependent de natura materialului din care acesta este realizat şi a pământului din jur, având valorile din tabelul 1.7.

Valorile unghiului δ **Tabelul1.7.**

Natura pământului	Piloţi din beton				Piloţi din metal	
	executaţi în situ		prefabricaţi			
	δ^0	tg δ	δ^0	tg δ	δ^0	tg δ
Pietriş cu nisip, curat	42	0,87	30	0,58	28	0,55
Pietriş cu nisip şi praf	33	0,65	22	0,40	23	0,42
Nisip mediu, uscat	33	0,65	30	0,58	28	0,55
Nisip umed	33	0,65	31	0,60	28	0,55
Nisip saturat	32	0,62	30	0,58	26	0,49
Praf grosier, uscat, I_p=4%	36	0,73	30	0,58	30	0,58
Praf grosier, umezit, I_p=4%	28	0,53	23	0,43	22	0,40
Praf uscat, cu I_p=9%	35	0,70	30	0,58	28	0,53
Praf umezit, cu I_p=9%	23	0,42	22	0,40	20	0,36
Praf uscat, cu I_p=14%	35	0,70	28	0,53	28	0,53
Praf umezit, cu I_p=14%	25	0,47	20	0,36	20	0,36

c. Dacă piloţii străbat pământuri coezive cu frecare, rezistenţa pe suprafaţa laterală τ_{fl} se determină ca sumă a componentelor prezentate la punctele a, b, astfel:

$$\tau_{fl}=\sigma_x . tg\delta+c_a \qquad (58)$$

Relaţiile 55, 57, 58 de calcul a rezistenţei pe suprafaţa laterală a piloţilor funcţie de eforturile unitare normale ce determină starea de tensiune în pământul din jur reprezintă particularizări ale legii lui Coulomb.

Ilustrarea grafică a relaţiei de dependenţă dintre rezistenţa pe suprafaţa laterală a pilotului (τ_{fl}) şi rezistenţa pământului din jur caracterizată prin tensiunile unitare normale (σ_x), este redată în fig. 1.75.

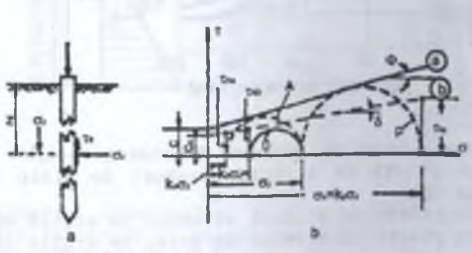


Fig. 1.75. Dependenţa grafică: rezistenţa pe suprafaţa laterală - rezistenţa pământului din jur.

Rezistenţa pe suprafaţa laterală a pilotului este redată grafic prin dreapta „b", iar rezistenţa pământului prin dreapta „a".

Starea de tensiune aferentă unui element unitar situat la adâncimea „z", fig. 1.75a este dependentă de mărimea şi sensul deplasărilor (vezi fig. 1.72) care urmărind fig. 1.75b, poate fi:

- o stare de repaus, corespunzătoare cercului O;
- o stare activă, corespunzătoare cercului A;
- o stare pasivă sau de tranzit, corespunzătoare cercului P.

Încărcarea capabilă a pilotului este determinată de componentele rezistenţelor mobilizate pe:

a. suprafaţa laterală;
b. vârf.

a. Mobilizarea rezistenţelor pe suprafaţa laterală a pilotului prin componentele de frecare şi coeziune determină încărcarea ce poate fi preluată datorită acestei stări.

Astfel, în cazul piloţilor cu lungimea L<15d, ce lucrează în prezenţa pământurilor omogene, fig. 1.76a, încărcarea capabilă va fi:

$$P_i = \iint^{\tau_{li}} \cdot dA = \int_0^L U \cdot d_z(\sigma_x \cdot tg\delta + c_a) = \int_0^L U(\gamma \cdot z \cdot K_p \cdot tg\delta + c_a) = \frac{1}{2} UL^2 K_p tg\delta + UL \cdot c_a =$$

$$= P_{1f} + P_{1a} \qquad (59)$$

în care semnificaţia termenilor este următoarea:

P_{1f} - componenta rezistenţei pe suprafaţa laterală a pilotului datorată frecării;

P_{1a} - componenta rezistenţei pe suprafaţa laterală a pilotului datorată aderenţei.

Dacă pilotul traversează straturi de pământ neomogene încărcarea capabilă datorată unui strat „i", fig. 1.76b situat între cotele z_i şi z_{i-1}, va fi:

$$P_{li} = \int U(K_{pi} \cdot \sigma_z \cdot tg\delta_i + c_a)dz$$

iar $$\sigma_z = \sum_{j=1}^{j=i} \gamma_j(z_j - z_{j-1}) + \gamma_i(z_i - z_{i-1}) = q_i + \gamma_L(z_i - z_{i-1})$$

si atunci:

$$P_{li} = U(z_i - z_{i-1})(q_i \cdot K_{pi} \cdot tg\delta_i + c_{a_i}) + \frac{U}{2}\gamma_i \cdot K_{pi} \cdot tg\delta_i(z_i - z_{i-1})^2 \; ; \; (60)$$

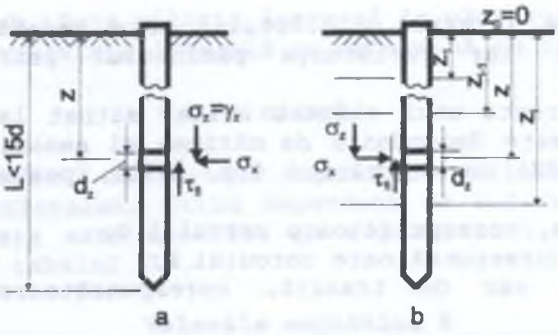


Fig. 1.76. Schema de evaluare a rezultantei rezistenței pe suprafața laterală a pilotului.
a. cazul pilotului introdus prin batere într-un pământ omogen;
b. cazul pilotului introdus prin batere într-un pământ neomogen.

b. Mobilizarea rezistenței pământului de sub vârful pilotului determină cea de-a doua componentă P_v a încărcării totale, ce poate fi evaluată pe baza relației:

$$P_v = p_v . A_b; \qquad (61)$$

unde:

p_v - rezistența dezvoltată de pământul situat sub vârful pilotului, estimată la nivelul presiunii critice de cedare, p_{cr}. ($p_v = p_{cr}$.);

A_b - aria secțiunii bazei pilotului;

$A_b = \frac{\pi d^2}{4}$ - pentru piloți cu secțiune constantă;

$A_b = \frac{0{,}9\pi d_1^2}{4}$ - pentru piloți cu baza lărgită;

d - diametrul pilotului;

d_b - diametrul bazei lărgite.

Presiunea critică (p_{cr}) a stratului de pământ situat sub vârful pilotului se determină similar fundațiilor de suprafață, neglijând însă efectul datorat frecării la nivelul bazei acestuia și în consecință a greutății proprii a prismelor de pământ situate sub pilot și antrenate în procesul de cedare.

O cale de evaluare a presiunii critice se bazează pe ipoteza cedării pământului prin dezvoltarea în zonele de sub și lateral pilotului a unei stări de rupere de tip activ și pasiv, distribuită ca în fig. 1.77.

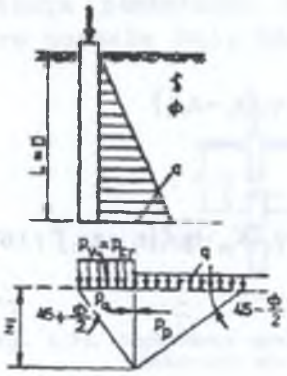


Fig. 1.77. Distribuția stării de tensiune în pământul de sub și lateral pilotului.

Neglijând greutatea proprie şi coeziunea pământului situat sub baza pilotului şi antrenat în procesul cedării, expresia presiunii critice se deduce din condiţia de echilibru între presiunea activă şi pasivă exprimate după Rankine, fig. 1.77, astfel:

$$P_a = P_p$$

$$p_\alpha tg^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right) = q \cdot tg^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right); \qquad (62)$$

$$p_\alpha = q \cdot \frac{tg^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right)}{tg^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right)} = q \cdot K_p^2; \qquad (63)$$

Dacă vârful pilotului reazemă pe pământuri pur coezive (cu frecare nesemnificativă) rezistenţa pământului de sub vârful pilotului este egală conform teoriei Meyerhof cu presiunea critică de cedare care se determină conform STAS 2561/3-90 [20] cu relaţia:

$$P_{cr} = c_u . N_c + \gamma_1 . D; \qquad (64)$$

sau conform [2] cu relaţia:

$$p_{cr} = c_u . N_c; \qquad (65)$$

Semnificaţia termenilor din relaţiile (64) şi (65) este următoarea:

- c_u - rezistenţa nedrenată a stratului de pământ de la baza pilotului [kPa];
- N_c - factor de capacitate portantă, considerat egal cu 9 după cercetările Meyerhof, fig. 1.78;
- γ_1 - media ponderată a valorilor de calcul a greutăţii volumetrice a straturilor de pământ aflate în lungul fişei D a pilotului [kN/m^3].

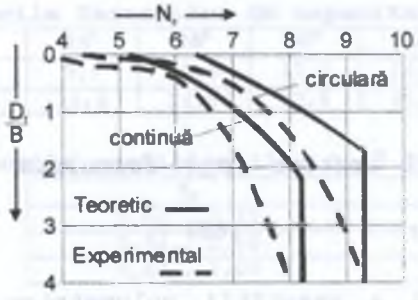


Fig. 1.78. Variaţia factorului de capacitate portantă N_c pentru pământuri pur coezive, funcţie de adâncimea relativă de fundare (D_f/B).

Atunci când nu se dispune de date suficiente privind rezistenţa la forfecare a stratului de pământ de la baza pilotului, se admite pentru pământuri coezive utilizarea valorilor rezistenţei pe vârf p_v, conform tabelului 1.8.

Tabelul 1.8.

Valorile rezistenţei pe vârf, p_v pentru pământuri coezive

Adâncimea bazei pilotului, m	I_c						
	≥1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
3	850	750	650	500	400	300	250
5	1000	850	750	650	500	400	350
7	1150	1000	850	750	600	500	450
10	1350	1200	1050	950	800	700	600
12	1550	1400	1250	1100	950	800	700
15	1800	1650	1500	1300	1100	1000	800
18	2100	1900	1700	1500	1300	1150	950
20	2300	2100	1900	1650	1450	1250	1050
30	330	3000	2600	2300	2000	-	-
40	4500	4000	3500	3000	2500	-	-

Dacă baza pilotului reazemă pe straturi necoezive, rezistenţa pământului de sub vârf, p_v, se determină pe baza rezultatelor experimentale întreprinse de V.G. Berezanter pentru aceste tipuri de pământuri.

Conform cercetărilor efectuate se admite că la nivelul bazei pilotului se formează o zonă de îndesare mare, delimitată de restul masivului de pământ prin suprafeţe compuse de cedare, fenomenul fiind însoţit de antrenarea unui volum de pământ situat în jurul pilotului delimitat de **nivelul terenului - baza pilotului şi suprafeţele de separaţie AB, CD,** fig. 1.79.

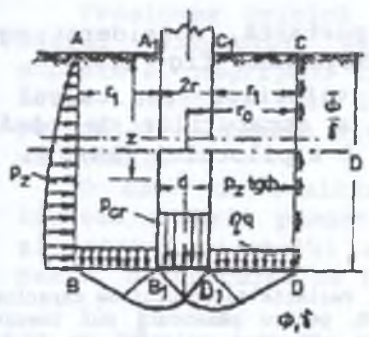


Fig. 1.79. Schema de calcul a rezistenţei pe vârf în cazul pământurilor necoezive.

Relaţia de calcul a presiunii critice (p_{cr}) formulată de Berezanter are expresia:

$$p_{cr} = \gamma \cdot d \cdot N_\gamma + \eta \bar{\gamma} \cdot D \cdot N_q ; \qquad (66)$$

în care:

γ - valoarea de calcul a greutăţii volumetrice a pământului de sub baza pilotului, [kN/m^3];

d - diametrul pilotului, [m];

N_γ, N_q - factori de capacitate portantă redaţi în tabelul 1.9, funcţie de unghiul de frecare interioară a stratului de la baza pilotului;

η - factor de reducere a sarcinii geologice q, ca urmare a mobilizării rezistenţei pe suprafaţa de separaţie (fig. 1.79);

D - fişa reală a pilotului, [m];

$\bar{\gamma}$ - media ponderată (în raport cu grosimea straturilor), a valorilor de calcul ale greutăţii volumetrice a straturilor de pământ străbătute de pilot.

Încercările efectuate pe piloţi de probă a căror bază reazemă pe straturi necoezive arată o bună concordanţă între rezultatele practice obţinute şi cele furnizate pe baza relaţiei (66).

Din acest considerent relaţia este acceptată ca fiind o cale standardizată de evaluare a rezistenţei pe vârf.

Astfel, conform [20] relaţia de calcul standardizată pentru determinarea presiunii pe vârf are forma:

$$p_v = p_{cr} = \alpha(\gamma.d_b.N_\gamma + \gamma_1.D_c.N_q); \qquad (67)$$

unde:

α - coeficient funcţie de gradul de îndesare I_D al pământului de la baza pilotului, redat în tabelul 1.10;

γ, N_γ, N_q - semnificaţia din relaţia (66);

γ_1 - semnificaţia din relaţia (64);

d_b - diametrul pilotului la nivelul bazei, [m];

D_c - fişa de calcul a pilotului stabilită astfel:

$D_c = \beta.d_b$, dacă $D \geq \beta.d_b$;

$D_c = D$, dacă $D < \beta.d_b$;

β - coeficient funcţie de gradul de îndesare I_D al pământului de la baza pilotului, redat în tabelul 1.10.

Valorile factorilor de capacitate portantă N_γ, N_q Tabelul 1.9.

Φ'	26^0	28^0	30^0	32^0	34^0	36^0	38^0	40^0
N_γ	9,5	12,6	17,3	24,4	34,6	48,6	71,3	108,0
N_q	18,6	24,8	32,8	45,5	64,0	87,6	127,0	185,0

Valorile coeficienţilor α, β funcţie de I_D Tabelul 1.10.

I_D	α	β
0,00...0,33	0,5	10
0,34...0,66	0,4	15
0,67...1,00	0,3	20

Dacă piloţii reazemă cu baza pe rocă stâncoasă sau semistâncoasă rezistenţa de calcul pe vârf, p_v se determină cu relaţia:

$$p_v = \sigma_{cc}\left(\frac{t}{d}+1,5\right); \qquad (68)$$

în care:

σ_{oz} - rezistenţa medie la compresiune a rocii;

t - adâncimea de încastrare a pilotului în stratul de rocă, luând în considerare grosimea de alterare a acesteia;

d - diametrul pilotului în planul bazei.

3. Determinarea încărcării critice P_{cr} pe baza unor relaţii empirice dobândite în practica utilizării piloţilor pentru rezistenţa pe suprafaţa laterală şi pe vârf

Procedeul este admis în fazele preliminare de proiectare pentru toate tipurile de construcţii şi în faza finală pentru construcţiile obişnuite încadrate în clasele de importanţă III, IV, V sau când numărul necesar de piloţi este sub 100.

Componentele încărcării critice a pilotului definite prin P_l şi P_v se determină conform [20], [21] cu ajutorul relaţiilor:

- **pentru încărcarea datorată rezistenţei pe suprafaţa laterală a pilotului:**

$$P_l = U\sum_{i=1} f_i l_i \; ; \qquad (69)$$

unde:

U - perimetrul pilotului [m];

f_i - rezistenţa de calcul pe suprafaţa laterală în dreptul stratului i, exprimată în kPa şi având în cazul piloţilor prefabricaţi şi executaţi pe loc valorile din tabelul 1.11;

l_i - grosimea stratului i, [m];

i - numărul straturilor de pământ existente în lungul fişei pilotului.

Valorile de calcul a rezistenţei pe suprafaţa laterală a piloţi-lor prefabricaţi şi executaţi pe loc

Tabelul 1.11.

Adâncimea medie a stratului	Pământuri necoezive			Pământuri coezive cu I_c					
	mari şi fine prăfoase		mici	≥0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
	Valorile f_i în kPa								
1	35	23	15	35	23	15	12	5	2
2	42	30	20	42	30	20	17	7	3
3	48	35	25	48	35	25	20	8	4
4	53	38	27	53	38	27	22	9	5
5	56	40	29	56	40	29	24	10	6
7	60	43	32	60	43	32	25	11	7
10	65	46	34	65	46	34	26	12	8
15	72	51	38	72	51	38	28	14	10
20	79	56	41	79	56	41	30	16	12
25	86	61	44	86	61	44	32	18	-
30	93	66	47	93	66	47	34	20	-
35	100	70	50	100	71	50	36	22	-

Referitor la valorile întabelate f_i se fac următoarele precizări:

a) valorile f_i se adoptă pentru adâncimile medii corespunzătoare distanţei de la mijlocul stratului i până la:
   - nivelul terenului natural, dacă umpluturile sau decapările din jurul piloţilor nu depăşesc 3m;
   - nivelul superior, respectiv inferior, cu 3m nivelului terenului natural, dacă umpluturile sau decapările depăşesc 3m;

b) pentru valori intermediare ale adâncimilor sau consistenţei, valorile f_i rezultă prin interpolare liniară;

c) dacă în lungul fişei pilotului există un strat puternic compresibil de consistenţă redusă (turbă, mâl, nămol, etc.) de grosime cel puţin 30cm, iar suprafaţa terenului urmează a fi încărcată, valorile rezistenţei pe suprafaţa laterală (f_i) pentru stratul puternic compresibil şi straturile de deasupra acestuia se determină astfel:

   - $f_i=0$, dacă suprasarcina nu depăşeşte 30kPa pentru toate straturile situate până la limita inferioară a stratului puternic compresibil, inclusiv umpluturile;
   - $f_i=-0,4f_{i.tabel1.10}$, pentru straturile de pământ situate deasupra celui puternic compresibil (inclusiv umpluturile) şi suprasarcina la nivelul terenului este cuprinsă între (30-80)kPa, respectiv $f_i=-5$kPa pentru stratul puternic compresibil;
   - $f_i=-f_{i.tabel1.9}$, pentru straturile situate deasupra celui puternic compresibil şi suprasarcina la nivelul terenului mai mare de 80 kPa, respectiv $f_i=-5$kPa pentru stratul puternic compresibil;

d) $f_i=-f_{i.tabel1.9}$, atunci când pilotul străbate umpluturi recente, straturi argiloase în curs de consolidare sau straturi macroporice sensibile la umezire cu grosime peste 5m.

- **Pentru încărcarea datorată rezistenţei pe vârf:**

$$P_v=p_v.A_b; \qquad (70)$$

În care:

A_b - aria secţiunii bazei pilotului [m^2];

p_v - rezistenţa de calcul pe vârful pilotului, având valorile de calcul din tabelele 1.12 şi 1.13 pentru piloţi prefabricaţi, respectiv piloţi foraţi.

Valorile de calcul ale rezistenţei pe vârf a piloţilor prefabricaţi. **Tabelul 1.12.**

Adâncimea de înfigere	Pământuri necoezive				Nisip prăfos	Pământuri coezive cu I_o						
	Pietriş	Nisipuri				≥1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
		mari	mediu	fine								
	p_v kPa											
3	7500	6500	2900	1800	1200	7000	4000	3000	2000	1200	1000	600
4	8300	6600	3000	1900	1250	8300	5100	3800	2500	1600	1200	700
-	8800	6700	3100	2000	1300	8800	6200	4000	2800	2000	1300	800
7	9700	6800	3300	2200	1400	9700	6900	4300	3300	2200	1400	850
10	10500	7300	3500	2400	1500	10500	7300	5000	3500	2400	1500	900
15	11700	7500	4000	2800	1600	11700	7500	5600	4000	2800	1600	1000
20	12600	8200	4500	3100	1700	12600	8200	6200	4500	3100	1700	1100
25	13400	8800	5000	3400	1800	13400	8800	6800	5000	3400	1800	1200
30	14200	9400	5500	3700	1900	14200	9400	7400	5500	3700	1900	1300
35	15000	10000	6000	4000	2000	15000	10000	8000	6000	4000	2000	1400

Valorile de calcul a rezistenţei pe vârf pentru piloţii foraţi. **Tabelul 1.13.**

Adâncimea bazei pilotului	Pământuri coezive cu I_o						
	≥1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
	Rezistenţa pe vârf p_v în kPa						
3	850	750	650	500	400	300	250
5	1000	850	750	650	500	400	350
7	1150	1000	850	750	600	500	450
10	1350	1200	1050	950	800	700	600
12	1550	1400	1250	1100	950	800	700
15	1800	1650	1500	1300	1100	1100	800
18	2100	1900	1700	1500	1300	1150	950
20	2300	2100	1900	1650	1450	1250	1050
30	3200	3000	2600	2300	2000	-	-
40	4500	4000	3500	3000	2500	-	-

Asupra rezistenţei pe vârf se fac următoarele precizări:

a. adâncimea de înfigere a pilotului se măsoară de la nivelul terenului natural până la vârful pilotului, dacă umpluturile sau decapările din jurul pilotului nu depăşesc 3m;

b. valorile p_v din tabelul 1.12 sunt valabile numai dacă pilotul pătrunde în terenul stabil (nesupus afuierilor sau alunecărilor) cel puţin 4m în cazul infrastructurii podurilor sau a construcţiilor hidrotehnice şi cel puţin 3m în cazul celorlalte construcţii;

c. valorile p_v din tabelul 1.12 sunt valabile numai pentru pământuri îndesate sau cu îndesare medie (I_D>0,33);

d. în cazul nisipurilor mari şi pietrişuri valorile p_v din tabelul 1.12 sunt valabile numai pentru încastrarea relativă a vârfului pilotului în strat t/d≥15, în caz contrar (t/d<15) rezistenţa de calcul

pe vârful pilotului se corectează cu ajutorul relaţiei:

$$P_{v.cor} = p_v(0,7+0,02t/d); \quad [kPa], \quad (71)$$

iar:

p_v - rezistenţa pe vârf conform tabelului 1.12;
t - adâncimea de încastrare a pilotului exprimată în [m] în stratul de nisip mare sau pietriş;
d - diametrul pilotului [m].

e. în cazul pământurilor nisipoase cu excepţia celor precizate la punctul d şi a pământurilor coezive, valorile p_v din tabelul 1.10 sunt valabile numai dacă vârful pilotului pătrunde în acest strat pe o adâncime $t/d \geq 4$, iar dacă $t/d < 4$ valorile rezistenţei pe vârf se calculează cu relaţia:

$$P_{v.cor} = p_v(0,5+0,125t/d); \quad [kPa], \quad (72)$$

f. pentru valori intermediare ale adâncimii de înfigere şi ale consistenţei pământurilor faţă de cele din tabelele 1.12, 1.13 valorile p_v se obţin prin interpolare liniară;

g. în cazul straturilor coezive cu indicele porilor $e>0,5$ valorile rezistenţei pe vârf se determină cu relaţia:

$$p_{v.cor} = p_v\left(1-0,5\frac{e-0,5}{0,6}\right); \quad [kPa], \quad (73)$$

iar:

p_v - rezistenţa pe vârf având valorile din tabelul 1.13;
e - indicele porilor stratului coeziv.

Având prezentate modalităţile de stabilire a încărcării critice, capacitatea portantă a piloţilor izolaţi solicitaţi la compresiune se determină astfel:

- **pentru faza finală de proiectare**

$$R=K.m.P_{cr}; \quad [kN], \quad (74)$$

În care:

R - capacitatea portantă a pilotului, [kN];
K - coeficient de omogenitate, egal cu 0,7;
m - coeficient al condiţiilor de lucru, egal cu 1,0;
P_{cr} - încărcarea critică a pilotului [kN], determinată pe baza rezultatelor obţinute prin încercări pe piloţi de probă, conform 1.4.1 subpunctul e.

Observaţie: în cazul construcţiilor de importanţă deosebită (clasele I şi II) şi ori de câte ori este posibil, se recomandă ca încercările şi determinarea capacităţii portante a piloţilor să se facă în faza anterioare fazei de proiectare.

- **pentru fazele preliminare de proiectare**
  - ***cazul piloţilor purtători pe vârf***

$$R = K.m.p_v.A; \quad [kN], \qquad (75)$$

în care :

R - capacitatea portantă la compresiune a piloţilor purtători pe vârf, în kN;

K - coeficient de omogenitate, egal cu 0,7;

m - coeficient al condiţiilor de lucru, egal cu 1,0;

p_v - rezistenţa convenţională a terenului sub vârful pilotului determinată conform 1.4.2.2.1.1 subpunctul 2 şi 3;

  - ***cazul piloţilor flotanţi***
    - ***prefabricaţi***

$$R = K(m_1.p_v.A + U.\Sigma m_2.f_i.l_i); \quad [kN], \quad (76)$$

În care:

R - capacitatea portantă la compresiune a piloţilor purtători pe vârf, în kN;

m_1, m_2 - coeficient al condiţiilor de lucru, având valorile din tabelul 1.14;

A - aria secţiunii bazei pilotului [m^2], determinată conform 1.4.2.2.1.1, relaţia (61);

U - perimetrul secţiunii transversale a pilotului [m];

p_v - rezistenţa convenţională a pământului sub vârful pilotului, tabel 1.12;

f_i - rezistenţa convenţională pe suprafaţa laterală a pilotului în dreptul stratului „i", tabel 1.11;

l_i - lungimea pilotului în contact cu stratul i, în metri;

K - coeficient de omogenitate.

Valorile coeficienţilor m_1, m_2 pentru piloţi prefabricaţi flotanţi **Tabel 1.14.**

Modul de punere în operă	m_1	m_2
1. Piloţi bătuţi	1,0	1,0
2. Piloţi introduşi prin spălare în pământuri nisipoase, cu condiţia baterii pe ultimul metru fără spălare.	1	0,6
3. Piloţi introduşi prin vibrare		
a. nisipoase saturate, de îndesare medie		
- mijlocii şi mari	1,2	1,0
- fine	1,1	1,0
- prăfoase	1,0	1,0
b. argiloase cu indicele de consistenţă $0,5<I_0<1,0$		
- prafuri nisipoase	0,9	0,9
- argile nisipoase sau prăfoase	0,8	0,9
- argile	0,7	0,9
c. argiloase cu indicele de consistenţă $I_0>1$	1,0	1,0

- *executaţi pe loc*

$$R = K(m_3.p_v.A + U.\Sigma m_4.f_i.l_i) \quad [kN] \quad (77)$$

în care :

R - capacitatea portantă la compresiune a piloţilor flotanţi executaţi pe loc, în kN;

K, A, U, f_i, l_i - conform explicitării termenilor din relaţia 76;

m_3 - coeficient al condiţiilor de lucru, funcţie de tehnologia de betonare a pilotului, tabelul 1.15;

m_4 - coeficient al condiţiilor de lucru, funcţie de modul de execuţie a pilotului, tabelul 1.16;

p_v - rezistenţa de calcul a pământului sub nivelul vârfului pilotului, conform tabelului 1.13 şi relaţiilor 64, 67 în cazul piloţilor foraţi de diametru mare.

Valorile coeficientului condiţiilor de lucru m_3, funcţie de tehnologia de betonare a pilotului

Tabelul 1.15.

Tehnologia de betonare a pilotului	m_3 pentru pământuri la baza pilotului	
	coeziv	necoeziv
Betonare în uscat	1,0	1,0
Betonare sub apă		
- cu injecţie la bază	0,9	1,0
- fără injecţie la bază	0,8	0,9
Betonare sub noroi		
- cu injecţie la bază	0,7	0,9
- fără injecţie la bază	0,6	0,8

Valorile coeficientului condiţiilor de lucru m_4 funcţie de modul de execuţie a pilotului

Tabelul 1.16.

Modul de susţinere a pereţilor găurilor	m_4 pentru pământ în jurul pilotului	
	coeziv	necoeziv
Pilot format în uscat şi netubat	0,6	0,7
Pilot forat sub noroi	0,5	0,6
Pilot forat cu tubaj recuperabil	0,5	0,6
Pilot forat cu tubaj nerecuperabil	0,6	1,0

1.4.2.2.1.2. Determinarea capacităţii portante a unui pilot solicitat la smulgere

Capacitatea portantă a piloţilor solicitaţi la smulgere este asigurată numai de mobilizarea rezistenţei pe suprafaţa laterală a pilotului şi se determină astfel:

• **pentru faza finală de proiectare:**

$$R_{sm} = K.m.P_{cr.sm.}; \quad [kN], \qquad (78)$$

în care:

R_{sm} - capacitatea portantă a pilotului solicitat la smulgere, în kN;

K, m - coeficient de omogenitate respectiv al condiţiilor de lucru, având valorile: K=0,7; m=0,6.

$P_{cr.sm.}$ - forţa critică la smulgere, exprimată în kN, determinată prin încercări de smulgere din teren [18];

• **pentru fazele preliminare de proiectare:**

$$R_{sm} = 0,6K.U.\Sigma m.f_i.l_i; \quad [kN], \qquad (79)$$

în care:

K, m - au semnificaţia din relaţia (78), având valorile:

K=0,7;

$m=m_2$, tabel 1.14, pentru piloţi prefabricaţi;

$m=m_4$, tabel 1.16, pentru piloţi executaţi pe loc;

U, f_i, l_i şi produsul $U\Sigma f_i l_i$ - au semnificaţia din relaţia 69.

1.4.2.2.1.3. Determinarea capacităţii portante a unui pilot vertical solicitat la forţe orizontale

Relaţiile ce exprimă capacitatea portantă a unui pilot vertical solicitat la forţe orizontale, sunt de forma:

• **pentru faza finală de proiectare.**

$$R_{0r}=K.m.P_{cr.or.}; \quad [kN], \qquad (80)$$

în care:

R_{or} - capacitatea portantă a piloţilor verticali la sarcini orizontale;

K - coeficient de omogenitate, egal cu 0,7;

m - coeficientul condiţiilor de lucru, egal cu 0,7;

$P_{cr.or.}$ - forţa critică orizontală, determinată prin încercări de probă, conform [18]

• **pentru fazele preliminare de proiectare:**

▪ ***cazul piloţilor verticali cu radiere joase***

$$R_{0r}=K.m.P_{cr.or.}; \quad [kN], \qquad (81)$$

în care:

K, m - au semnificaţia din relaţia (80)

$P_{cr.or.}$ - forţa critică orizontală a unui pilot vertical, determinată cu ajutorul relaţiilor:

$$P_{cr.or.}=\frac{2M_{cap}}{l_0}; \quad [kN], \qquad (82)$$

- în cazul piloţilor consideraţi încastraţi în radier, fig. 1.80a;

$$P_{cr.or.}=\frac{M_{cap}}{l_0}; \quad [kN], \qquad (83)$$

- în cazul piloţilor consideraţi articulaţi în radier, fig. 1.80b;

Semnificaţia termenilor utilizaţi în relaţiile (82) şi (83) este următoarea:

$M_{cap.}$ - momentul încovoietor capabil al secţiunii pilotului determinat conform prescripţiilor tehnice privind calculul elementelor de beton armat, se exprimă în kN.m;

l_0 - lungimea convenţională de încastrare a pilotului în teren, măsurată conform figurii 1.80a, b având valorile din tabelul 1.17 şi care reprezintă lungimea unei console la care momentul încovoietor de încastrare sub încărcare orizontală este acelaşi cu momentul maxim care se dezvoltă în pilot.

Valorile lungimii convenţionale de încastrare „l_0"

Tabelul 1.17.

Categoria pământului	l_0
Nisipuri afânate în pământuri corozive având $l_0 \leq 0,5$	4d
Nisipuri de îndesare medie şi pământuri coezive având $0,5 < l_0 \leq 0,75$	3d
Nisipuri şi pietrişuri îndesate, pământuri coezive având $0,75 < l_0 \leq 1,00$	2d
Pământuri coezive tari, având $l_0 > 1,00$	1,5d

În cazul pământurilor neomogene, lungimea convenţională de încastrare se stabileşte ca medie ponderată (prin grosimi de straturi) ale valorilor corespunzătoare straturilor aflate pe o adâncime egală cu $1,5l_0$, unde l_0 reprezintă valoarea corespunzătoare stratului de la suprafaţă.

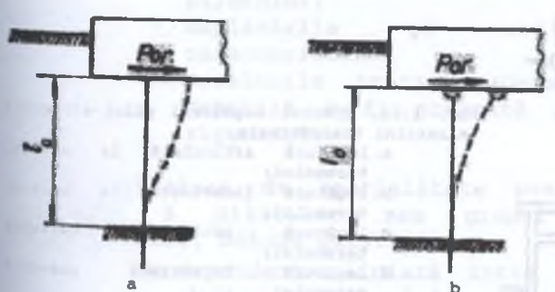


Fig. 1.80. Scheme statice de calcul a piloţilor verticali cu radiere joase acţionate de forţe orizontale.
a. pilot considerat încastrat în radier şi teren;
b. pilot considerat articulat în radier şi încastrat în teren.

În cazul piloţilor verticali şi înclinaţi cu radiere joase acţionate de sarcini orizontale se verifică şi respectarea inegalităţii:

$$H_{tot} \leq m(\Sigma H_{in} + n.R_{or}) \quad [kN] \qquad (84)$$

unde:

H_{tot} - componenta orizontală totală ce acţionează asupra radierului, exprimată în kN;

ΣH_{in} - suma componentelor orizontale datorate eforturilor axiale ce acţionează în piloţii înclinaţi, se exprimă în kN;

R_{or} - capacitatea portantă a piloţilor verticali la solicitări orizontale, determinată cu relaţia (80) pentru faza finală de proiectare, respectiv cu relaţia (81) pentru fazele preliminare de proiectare;

n - numărul piloţilor verticali;

m - coeficientul condiţiilor de lucru, egal cu 0,9.

Relaţiile (81); (82); (83) sunt utilizate în cazul radierelor joase, dacă fişa pilotului $D>5l_0$ [20].

1.4.2.2.1.3.1. Calculul piloţilor încărcaţi lateral

Există în practică diverse situaţii în care rezultanta încărcărilor ce revin unui pilot să aibă direcţia de acţiune alta decât cea corespunzătoare axei pilotului.

Este cazul piloţilor acţionaţi de forţe transversale în raport cu axa longitudinală şi chiar a prezenţei unor excentricităţi, fapt ce determină solicitări complexe de compresiune, întindere şi încovoiere.

Ca urmare a acestei stări de solicitare, pe capul pilotului în zona de legătură cu structura (funcţie de tipul legăturii) pot apărea reacţiuni de tipul unor forţe sau momente încovoietoare, ca în fig. 1.81.

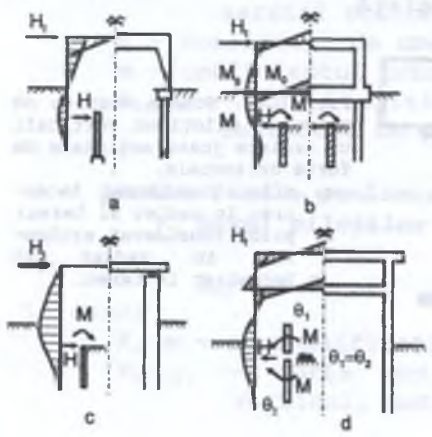


Fig. 1.81. Efectul legăturii pilot-structură la sarcini transversale.
a. legătură articulată la nivelul terenului;
b. legătură încastrată la nivelul terenului;
c. legătură articulată deasupra terenului;
d. legătură încastrată deasupra terenului.

În funcţie de legătura realizată în practică între capul pilotului şi structură, ca urmare a acţiunii orizontale notată H_t în figură, la nivelul terenului se dezvoltă forţe axiale, forţe transversale şi momente încovoietoare.

Modul de transmitere către teren a încărcărilor ce revin piloţilor din acţiunea sarcinii orizontale este condiţionat de:

- rigiditatea pilotului sau a ansamblului constituit;
- lungimea pilotului şi a caracteristicilor de rezistenţă şi deformabilitate a pilotului.

Distribuţia la teren a presiunilor dezvoltate de pilot sau grupă de piloţi acţionaţi de forţe verticale, funcţie de lungimea şi rigiditatea acestora este prezentată în fig. 1.82.

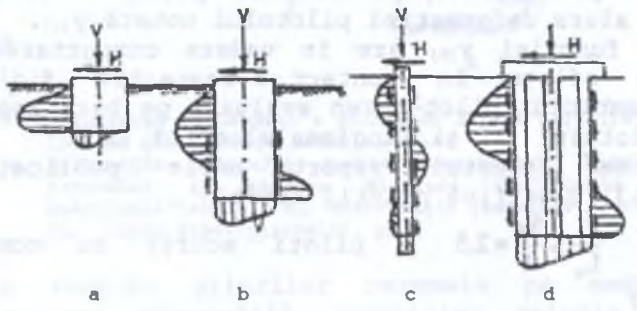


Fig. 1.82. Diagramele de distribuţie la teren a presiunilor transmise de piloţi sau grupă de piloţi acţionaţi de forţe verticale şi orizontale.
a-pilot scurt; b-pilot de lungime redusă; c-pilot zvelt cu flexibilitate ridicată; d-grupă de piloţi.

Acţiunea forţelor orizontale şi a momentelor încovoietoare pe capul piloţilor verticali presupune cunoaşterea următoarelor elemente:

- presiunile efective dezvoltate la nivelul de contact pilot-teren;
- eforturile secţionale M şi T în lungul fişei pilotului;
- deplasările şi rotirile în secţiunile caracteristice;
- presiunile unitare admisibile sau forţa totală capabilă a fi preluată de teren în condiţii de siguranţă.

Literatura de specialitate prezintă diverse metode de calcul a piloţilor sau grupei de piloţi solicitaţi transversal, metode bazate pe:

- dependenţa liniară între presiunea de contact şi deplasare, asemănător grinzilor rezemate pe mediu elastic;

- teoria elastică a presiunii pământului, care presupune determinarea presiunii pasive şi active corespunzător unor deplasări capabile să mobilizeze aceste presiuni;
- interpretarea rezultatelor teoretice, experimentale şi de teren concretizate prin tabele şi diagrame utilizate în practica de proiectare.

În vederea determinării capacităţii portante la sarcini orizontale a piloţilor verticali sau înclinaţi şi în special a fundaţiilor cu radier înalt, precum şi pentru calculul la deformaţii a fundaţiilor pe piloţi acţionate de sarcini verticale şi orizontale, sunt recomandate [20] metodele de calcul bazate pe teoria grinzilor pe mediu elastic.

Distribuţia presiunilor de contact pilot - teren este determinată de alura deformaţiei pilotului notată $y_{(z)}$.

Aprecierea funcţiei $y_{(z)}$ are în vedere comportarea celor două elemente aflate în contact, respectiv rigiditatea relativă a ansamblului pilot-teren evaluată pe baza raportului dintre fişa pilotului (L) şi lungimea elastică (L_e).

După mărimea acestui raport unele publicaţii de specialitate [13] clasifică piloţii astfel:

- pentru $\frac{L}{L_e} \leq \frac{3\pi}{4} \approx 2{,}5$ - piloţi scurţi cu comportare rigidă;
- pentru $\frac{L}{L_e} > 4$ - piloţi lungi cu comportare între rigidă şi flexibilă.

Aspecte privind calculul la solicitări transversale a piloţilor izolaţi lungi, a grupei spaţiale de piloţi lungi cu comportare elastică şi a piloţilor scurţi cu comportare rigidă având la bază teoria grinzilor rezemate de mediu elastic vor fi prezentate în cele ce urmează:

1. Cazul pilotului izolat cu comportare elastică [20]

Pentru calculul deformaţiilor şi a eforturilor secţionale în lungul fişei unui pilot izolat încărcat transversal (P, M) fig. 1,83a, se asimilează terenul cu un mediu elastic (mediu Winkler), al cărui model mecanic constituit dintr-un sistem de resorturi este prezentat în fig. 1.83b.

Caracteristica de deformabilitate a resoartelor supuse presiunii orizontale a terenului poartă denumirea de coeficient al reacţiunii laterale notată E_s, având distribuţia în lungul fişei pilotului constantă sau liniară, ca în fig. 1.83d.

Datorită variaţiei pe verticală a naturii şi stării terenului, coeficientul reacţiunii laterale se consideră în majoritatea cazurilor, variabil cu adâncimea: $E_s = s_{(z)}$.

Ca urmare a solicitării transversale, pilotul înregistrează deformaţia din fig. 1.83a, variabilă cu adâncimea: $y = y_{(z)}$, care

determină mobilizarea presiunii reactive a terenului: $\bar{p}_r = \bar{p}_{r(z)}$, fig. 1.83d.

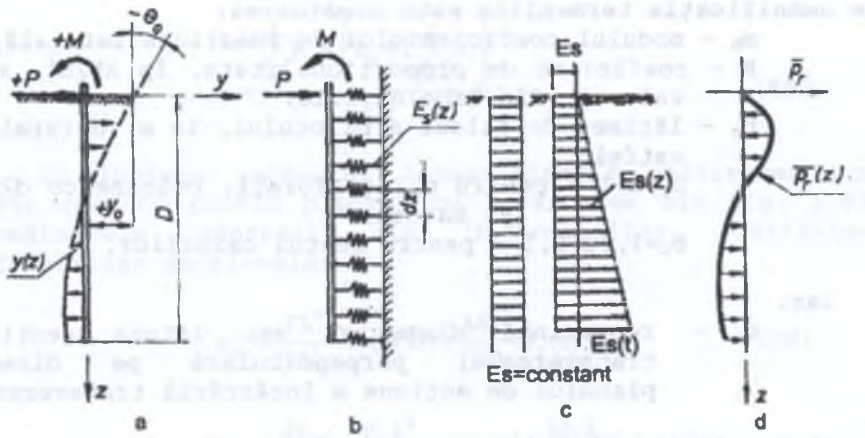


Fig. 1.83. Conlucrarea cu terenul a pilotului izolat solicitat transversal în ipoteza grinzilor pe mediu elastic.
a. deformaţia pilotului izolat transversal; modelul mecanic al terenului în ipoteza Winkler; distribuţia coeficientului reacţiunii laterale E_s; distribuţia presiunii reactive a terenului în, lungul fişei pilotului, $p_{r(z)}$.

Similar teoriei grinzilor rezemate pe mediu elastic, rezultă în urma efectuării calculelor relaţia ce exprimă echilibru diferenţial dintre deformaţia $y=y_{(z)}$ şi presiunea reactivă a terenului $\bar{p}_r = \bar{p}_{r(z)}$, de forma:

$$(EI)_p \frac{d^4y}{dz^4} + \bar{p}_r = 0; \qquad (85)$$

unde:

$(EI)_p$ - reprezintă rigiditatea la încovoiere a secţiunii pilotului;

y - deformaţia pilotului la încărcări transversale;

z - distanţa pe verticală de la nivelul terenului la secţiunea de calcul;

$\bar{p}_r$ - presiunea reactivă a terenului mobilizată prin deformaţia transversală a pilotului, determinată cu relaţia:

$$\bar{p}_r = E_s \cdot y; \qquad (86)$$

Rezolvarea ecuaţiei diferenţiale (85) se poate face în mai multe ipoteze dintre care sunt prezentate următoarele:

a. Ipoteza terenului linear-elastic;
b. Ipoteza terenului nelinear;
c. Ipoteza terenului constant - elastic.

a. Ipoteza terenului liniar-elastic [20], în care coeficientul reacţiunii laterale variază cu adâncimea:

$$E_s=m_h.z=K.b_c.z;\ [kPa], \qquad (87)$$

unde semnificaţia termenilor este următoarea:

m_h - modulul coeficientului de reacţiune laterală;

K - coeficient de proporţionalitate, în kN/m^4, având valorile din tabelul 1.18;

b_c - lăţimea de calcul a pilotului, în m, determinată astfel:

$b_c=d+1$ - pentru piloţi foraţi, coloane cu $d\geq 0,8m$ şi barete;

$b_c=1,5d+0,5$ - pentru restul cazurilor.

iar:

d - reprezintă diametrul sau latura secţiunii transversale, perpendiculară pe direcţia planului de acţiune a încărcării transversale.

Valorile coeficientului de proporţionalitate K Tabelul 1.18.

Tipul pământului	Coeficientul de proporţionalitate K, kN/m^4	
	Piloţi prefabricaţi	Piloţi executaţi pe loc
Argile şi argile prăfoase având $I_0\leq 0,25$	650...2500	500...2000
Argile şi argile prăfoase având $0,25<I_0\leq 0,5$; Prafuri nisipoase având $I_0\leq 1,00$ şi Nisipuri prăfoase având $0,6\leq e<0,8$	2500...5000	2000...4000
Argile şi argile prăfoase având $0,5<I_0\leq 1,00$; Prafuri nisipoase având $I_0>1$; Nisipuri fine şi nisipuri mijlocii	5000...8000	4000...6000
Argile şi argile prăfoase având $I_0>1$ Nisipuri mari	8000...13000	6000...10000
Nisipuri cu pietriş, pietriş şi bolovănişuri cu umplutură de nisip	-	10000...20000

Valorile coeficientului de proporţionalitate K se determină pentru straturile de pământ aflate până la adâncimea l_K calculată cu relaţia:

$$l_K=3,5d_1+1,5\leq D; \qquad (88)$$

unde:

d_1 - diametrul sau latura secţiunii transversale exprimată în m, situată paralel cu planul de acţiune a încărcării transversale;

D - fişa pilotului, în m.

Dacă pe adâncimea l_K există straturi de pământ caracterizate prin coeficienţi de proporţionalitate K ce diferă cu peste 50% faţă de media ponderată liniar cu grosimile, iar grosimea fiecărui strat „i" îndeplineşte

condiţia: $h_i \geq b_c$, se determină un coeficient de proporţionalitate echivalent $\overline{K}$ cu relaţia:

$$\overline{K} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i h_i \left(h_i + 2 \sum_{j=i+1}^{n} h_j \right)}{l_K^2}; \qquad (89)$$

În ipoteza terenului linear-elastic rezolvarea ecuaţiei (85) conduce pentru pilotul cu încărcarea din fig. 1.83a, la următoarele expresii ale deformaţiilor, rotirilor şi eforturilor secţionale:

$$y_{(z)} = \frac{P\lambda^3}{(EI)_p} A_y(z/D) + \frac{M\lambda^2}{(EI)_p} B_y(z/D); \qquad (90)$$

$$\theta_{(z)} = \frac{dy_{(z)}}{dz} = \frac{P \cdot \lambda^2}{(EI)_p} A_\theta(z/D) + \frac{M \cdot \lambda}{(EI)_p} B_\theta(z/D); \qquad (91)$$

$$M_{(z)} = -EI \frac{d^2 y_{(z)}}{dz^2} = P \cdot \lambda \cdot A_m(z/D) + M \cdot B_m(z/D); \qquad (92)$$

$$T_{(z)} = \frac{dM_{(z)}}{d_{(z)}} = P \cdot A_t(z/D) + \frac{M}{\lambda} B_t(z/D); \qquad (93)$$

în care semnificaţia termenilor este următoarea:

$y_{(z)}$ - deplasarea secţiunii pilotului la adâncimea z;
$\theta_{(z)}$ - rotirea secţiunii pilotului la adâncimea Z;
$M_{(z)}$ - momentul încovoietor în secţiunea de calcul situată la adâncimea z;
$T_{(z)}$ - forţa tăietoare în secţiunea de calcul situată la adâncimea z;
$A_y(z/D)$; $B_y(z/D)$; $A_\theta(z/D)$; $B_\theta(z/D)$; $A_m(z/D)$; $B_m(z/D)$;
$A_t(z/D)$; $B_t(z/D)$ - coeficienţi de influenţă funcţie de fişa redusă a pilotului $\overline{z}_{max} = D/\lambda$ şi adâncimea relativă z/D, având valorile cuprinse în tabelele 1.19 şi 1.20 în cazul piloţilor opriţi cu baza în terenuri stâncoase,

iar:

$$\lambda = \sqrt[5]{\frac{(EI)_p}{m_h}}; \qquad (94)$$

Valorile coeficienţilor de influenţă A_y; B_y; A_θ; B_θ

Tabelul 1.19

z/Δ	$\bar{z}_{max}=2$				$\bar{z}_{max}=3$				$\bar{z}_{max}=4$				$\bar{z}_{max}\geq 5$			
	A_y	B_y	A_θ	B_θ	A_y	B_y	A_θ	B_θ	A_y	B_y	A_θ	B_θ	A_y	B_y	A_θ	B_θ
0,00	4,734	-3,416	-3,416	3,182	2,726	-1,758	-1,758	1,789	2,444	-1,623	-1,623	1,712	2,438	-1,625	-1,625	1,701
0,05	4,393	-3,100	-3,409	3,092	2,465	-1,497	-1,742	1,639	2,121	-1,293	-1,595	1,512	2,034	-1,219	-1,581	1,452
0,10	4,053	-2,784	-3,392	2,992	2,206	-1,268	-1,706	1,490	1,805	-1,002	-1,530	1,314	1,645	-0,874	-1,482	1,206
0,15	3,713	-2,469	-3,367	2,893	1,951	-1,041	-1,649	1,342	1,505	-0,752	-1,432	1,121	1,286	-0,591	-1,337	0,997
0,20	3,378	-2,211	-3,333	2,795	1,707	-0,864	-1,575	1,198	1,225	-0,538	-1,310	0,935	0,963	-0,394	-1,163	0,751
0,25	3,046	-1,935	-3,293	2,700	1,475	-0,673	-1,488	1,059	0,972	-0,363	-1,169	0,761	0,687	-0,183	-0,972	0,555
0,30	2,718	-1,687	-3,248	2,608	1,256	-0,530	-1,391	0,925	0,747	-0,218	-1,018	0,601	0,458	-0,088	-0,780	0,386
0,35	2,395	-1,469	-3,199	2,520	1,052	-0,397	-1,288	0,801	0,553	-0,107	-0,865	0,458	0,277	0,018	-0,590	0,247
0,40	2,078	-1,160	-3,148	2,437	0,863	-0,272	-1,182	0,685	0,388	-0,024	-0,715	0,333	0,139	0,072	-0,435	0,137
0,45	1,763	-0,918	-3,097	2,361	0,691	-0,174	-1,078	0,581	0,254	0,035	-0,574	0,228	0,042	0,088	-0,295	0,055
0,50	1,456	-0,694	-3,047	2,291	0,534	-0,091	-0,978	0,486	0,147	0,075	-1,447	0,141	-0,023	0,108	-0,182	-0,003
0,60	0,863	-0,236	-2,957	2,175	0,262	0,006	-0,803	0,340	0,003	0,110	-0,241	0,018	-0,079	0,093	-0,030	-0,059
0,70	0,287	0,192	-2,888	2,094	0,038	0,125	-0,672	0,241	-0,069	0,105	-0,106	-0,048	-0,076	0,069	0,041	-0,068
0,80	-0,306	0,606	-2,846	2,047	-0,153	0,180	-0,564	0,185	-0,098	0,081	-0,033	-0,076	-0,052	0,038	0,062	-0,059
0,90	-0,874	1,014	-2,828	2,028	-0,326	0,212	-0,561	0,165	-0,106	0,048	-0,006	-0,064	-0,020	0,000	0,064	-0,051
1,00	-1,439	1,419	-2,825	2,025	-0,494	0,232	-0,557	0,162	-0,106	0,015	-0,003	-0,065	0,012	-0,025	0,063	-0,049

Valorile coeficienţilor de influenţă A_m; B_m; A_t; B_t

Tabelul 1.20

z/Δ	$\bar{z}_{max}=2$				$\bar{z}_{max}=3$				$\bar{z}_{max}=4$				$\bar{z}_{max}\geq 5$			
	A_m	B_m	A_t	B_t	A_m	B_m	A_t	B_t	A_m	B_m	A_t	B_t	A_m	B_m	A_t	B_t
0,00	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000
0,05	-0,099	0,999	0,998	0,023	-0,149	0,998	0,998	0,025	-0,197	0,998	0,997	0,039	-0,244	0,998	0,996	0,058
0,10	-0,194	0,996	0,992	0,071	-0,289	0,993	0,973	0,075	-0,378	0,987	0,911	0,111	-0,459	0,975	0,722	0,159
0,15	-0,281	0,987	0,795	0,141	-0,415	0,979	0,750	0,142	-0,530	0,959	0,539	0,199	-0,622	0,927	0,480	0,270
0,20	-0,357	0,970	0,667	0,225	-0,521	0,955	0,603	0,216	-0,647	0,914	0,446	0,287	-0,727	0,852	0,246	0,389
0,25	-0,419	0,945	0,519	0,320	-0,604	0,919	0,440	0,293	-0,724	0,851	0,251	0,364	-0,770	0,754	0,023	0,438
0,30	-0,467	0,910	0,359	0,419	-0,663	0,872	0,271	0,365	-0,763	0,775	0,098	0,423	-0,782	0,641	-0,163	0,474
0,35	-0,497	0,865	0,192	0,519	-0,695	0,814	0,104	0,420	-0,786	0,686	-0,098	0,460	-0,709	0,522	-0,298	0,475
0,40	-0,512	0,810	0,024	0,614	-0,704	0,747	-0,055	0,462	-0,739	0,594	-0,230	0,475	-0,628	0,405	-0,384	0,447
0,50	-0,491	0,674	-0,267	0,773	-0,653	0,593	-0,327	0,546	-0,615	0,407	-0,399	0,443	-0,423	0,202	-0,418	0,332
0,60	-0,413	0,511	-0,530	0,864	-0,531	0,428	-0,531	0,561	-0,444	0,243	-0,447	0,352	-0,229	0,054	-0,328	0,189
0,70	-0,294	0,336	-0,680	0,857	-0,366	0,268	-0,582	0,495	-0,271	0,120	-0,388	0,237	-0,091	-0,005	-0,194	0,088
0,80	-0,161	0,174	-0,835	0,722	-0,195	0,131	-0,526	0,362	-0,127	0,044	-0,280	0,126	-0,018	-0,021	-0,074	0,021
0,90	-0,049	0,050	-0,410	0,427	-0,058	0,036	-0,328	0,209	-0,033	0,008	-0,167	0,041	-0,001	-0,010	-0,004	-0,001
1,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**Dacă $\bar{z}_{max}>5$, în locul fişei reale D se foloseşte fişa de calcul $D_c=5\lambda$.*

**Pentru valori intermediare $\bar{z}_{max}$ şi z/D se interpolează liniar.*

b. Ipoteza terenului neliniar [20] în care coeficientul reacţiunii laterale E_s este dependent de nivelul de solicitare, având o distribuţie oarecare în raport cu adâncimea:

$$E_s = E_s(z,y); \qquad (95)$$

Pentru calculul deformaţiilor şi a eforturilor secţionale în lungul fişei pilotului se apelează la metode iterative, care constau în parcurgerea următoarelor etape de lucru:

1. se construiesc curbele $\bar{p}_z-y$ la diferite adâncimi, fig. 1.86, prioritate deosebită fiind acordată zonei superioare a stratificaţiei terenului situat pe o grosime de cca. 5d (d - diametrul sau latura secţiunii

transversale a pilotului perpendiculară pe planul de acţiune a încărcării transversale);

2. se determină o primă valoare pentru modulul coeficientului reacţiunii laterale, conform subpunctului a, relaţia 87: $m_h=K.b_c$;
3. cu valoarea m_h astfel stabilă, se calculează deformaţiile $y_{(z)}$, conform relaţiei 90;
4. se determină coeficienţii reacţiunii laterale secanţi $E_{s(z)}$, fig. 184, având la bază curbele $\bar{p}_r-y$, stabilite în etapa 1 şi deformaţiile transversale $y_{(z)}$ din etapa 3;

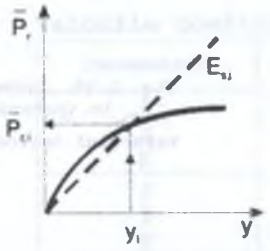


Fig. 1.84. Coeficienţii reacţiunii laterale secanţi funcţie de curbele $\bar{p}_r-y_{(z)}$

5. se construieşte dreapta ce reprezintă valorile medii ale coeficienţilor reacţiunii laterale secanţi, a cărei pantă reprezintă noua valoare a coeficientului m^*_h, fig. 1.85.

Fig. 1.85. Dreapta valorilor medii ale coeficienţilor reacţiunii laterale secanţi.

6. se verifică respectarea inegalităţii:

$$|m^*_h - m_h| \le \text{toleranţa} = (0{,}02+0{,}05)m_h; \qquad (96),$$

iar dacă:

$|m^*_h - m_h|$-toleranţa≥ 0, iteraţia se opreşte, rezultatele obţinute fiind considerate satisfăcătoare;

$|m^*_h - m_h|$-toleranţa<0, se reiau calculele de la punctul 2 cu o nouă valoare estimată pentru m_h.

Având determinate mărimile deformaţiilor $y_{(z)}$, pe baza relaţiei 90, se calculează rotirile şi eforturile secţionale $M_{(z)}$, $T_{(z)}$ cu ajutorul relaţiilor 91, 92, 93.

Pe baza eforturilor secţionale determinate în lungul fişei pilotului se trece la efectuarea următoarelor verificări:

- verificarea de rezistenţă a secţiunii transversale a pilotului în conformitate cu prescripţiile tehnice specifice;
- verificarea la capacitate portantă în raport cu terenul din jur;
- verificarea după caz la starea limită de deformaţie.

În ipoteza terenului neliniar, curba $\bar{p}_r - y_{(z)}$ la o adâncime z are forma din fig. 1.86.

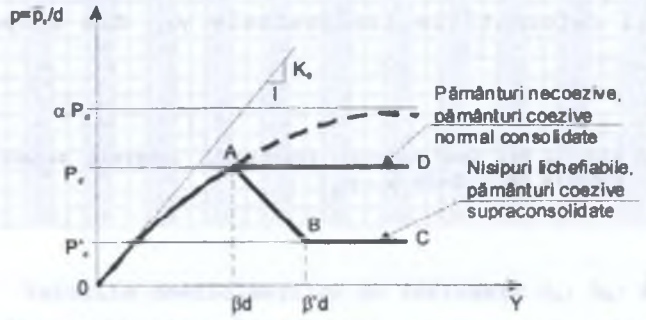


Fig. 1.86. Curba $\bar{p}_r - y_{(z)}$ în ipoteza terenului nelinear.

Urmărind alura diagramei $\bar{p}_r - y_{(z)}$, fig. 1.86, se remarcă existenţa mai multor porţiuni care se construiesc după cum urmează:

- **porţiunea OA** de formă hiperbolică, se determină pe baza relaţiei:

$$\frac{y}{p} = \frac{1}{K_0} + \frac{y}{\alpha p_d}; \qquad (97)$$

numai dacă:

$$p \le p_d;$$
$$y \le \beta_d,$$

în care:

K_0 - panta iniţială (fig. 1.86) determinată cu relaţiile:

$K_0 = K \cdot \frac{b_c}{d} \cdot z$ - pentru pământuri necoezive (98);

$K_0 = \xi \frac{p_d}{d(\varepsilon_c)^{0,25}}$ - pentru pământuri coezive (99);

ε_c - deformaţia axială determinată astfel:

- prin încercări experimentale la compresiune triaxială corespunzătoare la 50% din deviatorul de rupere;

$-\varepsilon_c=0,02$, pentru argile cu $I_c<0,5$;	când nu se
$-\varepsilon_c=0,01$, pentru argile cu $0,5\le I_c<1,00$;	dispune de date
$-\varepsilon_c=0,005$, pentru argile cu $I_c>1,00$.	experimentale.

ξ - coeficient având valorile din tabelul 1.21;

α - coeficient de siguranţă determinat pe baza relaţiei:

$$\alpha = \frac{1}{1 - p_d/(K_i \cdot z \cdot \beta \cdot d)}; \qquad (100)$$

β - coeficient funcţie de tipul pământului şi al încărcării, având valorile:

β=0,04 pentru pământuri necoezive;

β=valorile din tabelul 1.21 în cazul pământurilor coezive.

Valorile coeficienţilor ξ, β, β' **Tabelul 1.21**

Parametrul	Tipul încărcării	Tipul pământului coeziv	
		Normal consolidat	Supraconsolidat
ξ	Statică	10	30
β		$20\varepsilon_c$	$5\varepsilon_c$
β'		$80\varepsilon_c$	$8\varepsilon_c$
ξ	Ciclică	10	30
β		$7,5\varepsilon_c$	$2,5\varepsilon_c$
β'		$20\varepsilon_c$	$5\varepsilon_c$

p_d - presiunea ultimă de calcul, exprimată în kN/m^2 determinată astfel:

- **pentru pământuri necoezive**

- cazul acţiunii statice:

$$p_{ds} = 4\frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'}p_0'; \text{ [kPa]}, \qquad (101)$$

- cazul acţiunii ciclice:

$$p_{dc} = 3\frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'}p_0'; \quad \text{[kPa] - pentru } z \le 2d \qquad (102)$$

$$p_{dc} = 3\cdot\frac{z}{2d}\frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'}p_0'; \quad \text{[kPa] - pentru } z > 2d \qquad (103)$$

unde:

ϕ' - unghiul de frecare interioară efectivă, în grade;

p_0' - presiunea verticală efectivă la adâncimea z, în kPa.

- **pentru pământuri coezive**

$$p_d = N_p \cdot c_u; \qquad (104)$$

în care:

N_p - coeficient ce variază linear cu adâncimea determinat astfel:

$$N_p = 1 + 7\frac{z}{z_\alpha} \text{ - pentru solicitări statice;} \qquad (105)$$

$$N_p = 8\frac{z}{z_\alpha} \text{ - pentru solicitări ciclice;} \qquad (106)$$

z_{cr}=10d - pentru pământuri consolidate şi uşor supraconsolidate;

z_{cr}=5d - pentru pământuri supraconsolidate;

c_u - coeziunea aparentă nedrenată de calcul.

- **porţiunea AB**, are o variaţie lineară, specifică pământurilor ce pot suferi degradări structurale la diferite tipuri de solicitări (argile supraconsolidate, nisipuri afânate saturate solicitate ciclic, etc.), pentru care p_d (fig. 1,86) reprezintă rezistenţa reziduală determinată prin încercări de laborator.

În cazul argilelor se poate aprecia că pentru mobilizarea rezistenţei reziduale este necesară deplasarea y determinată cu relaţia:

$$y=\beta' d; \qquad (107)$$

în care:

β' - coeficient a cărui valori sunt cuprinse în tabelul 1.21;

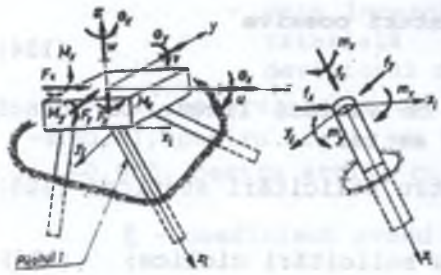
- **porţiunile AD şi BC au forma unor linii orizontale** şi sunt apecifice pământurilor necoezive sau coezive normal consolidate, respectiv în cazul nisipurilor lichefiabile şi a pământurilor coezive supraconsolidate.

2. Cazul grupei spaţiale de piloţi cu comportare elastică şi radier rigid [20].

Considerând încărcarea pe radier $\{F\}^T = (F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)$ din fig. 1.87, calculul grupei spaţiale de piloţi presupune determinarea şi verificarea următoarelor:

- determinarea deplasărilor $\{D_T\}^T=(u,v,w,\theta_x,\theta_y,\theta_z)$;
- determinarea eforturilor în secţiunea de încastrare a fiecărui pilot „i" în radier: $\{f_i\}^T=(f_x,f_y,f_z,m_x,m_y,m_z)$;
- determinarea şi trasarea diagramei eforturilor secţionale în lungul fişei pilotului;
- verificarea de rezistenţă a secţiunii piloţilor şi verificarea capacităţii portante a acestora în raport cu terenul din jur;
- verificarea piloţilor (după caz) la starea limită de deformaţii.

cu



a b

Fig. 1.87. Grup spaţial de piloţi radier rigid.
a. schema de încărcare şi deplasările aferente;
b. eforturile secţionale în secţiunea de încastrare în radier a piloţilor.

Calculul grupului spaţial de piloţi cu radier rigid se face prin parcurgerea următoarelor etape de lucru:

1. determinarea matricei de rigiditate $[K_i]$ a fiecărui pilot „i" raportată la sistemul de axe $O_i\ x_i\ y_i\ z_i$; astfel:

	u	v	w	θ_x	θ_y	θ_z
f_x	K_x	0	0	0	K_θ	0
f_y	0	K_y	0	$K_{y\theta}$	0	0
f_z	0	0	K_z	0	0	0
m_x	0	$K_{\theta y}$	0	$K_{\theta x}$	0	0
m_y	$K_{\theta x}$	0	0	0	$K_{\theta y}$	0
m_z	0	0	0	0	0	K_ψ

$$K_{x(y)} = \frac{\delta_\theta}{\delta_x \cdot \delta_\theta - \delta^2_{\theta x(y)}}; \qquad (108)$$

$$K_{\theta x(y)} = \frac{\delta_{\theta x(y)}}{\delta_x \cdot \delta_\theta - \delta^2_{\theta x(y)}}; \qquad (109)$$

$$K_\theta = \frac{\delta_w}{\delta_x \cdot \delta_\theta - \delta^2_{\theta x(y)}}; \qquad (110)$$

$$K_z = 1/\delta_z; \qquad (111)$$

$$K_\psi = 1/\delta_\psi; \qquad (112)$$

Flexibilitatea pilotului izolat definit în sistemul de axe xyz se determină aplicând în mod succesiv câte o solicitare unitară în capul pilotului (f_x=1, f_y=1, f_z=1, m_x=1, m_y=1, m_z=1), astfel:

- ***cazul pilotului izolat cu simetrie axială a secţiunii transversale:***

$$\delta_{xx} = \delta_{yy} = \delta_x; \qquad (113)$$

$$\delta_{\theta\theta x} = \delta_{\theta\theta y} = \delta_\theta; \qquad (114)$$

$$\delta_{x\theta} = \delta_{y\theta} = \delta_{\theta x} = \delta_{\theta y}; \qquad (115)$$

- ***cazul pilotului izolat cu fişă liberă, fig. 1.88.***

$$\delta_x = \frac{\lambda^3}{(EI)_p} A_{y(\theta)} + \left[\frac{\lambda^2}{(EI)_p} A_{\theta(\theta)} + \frac{l_0 \cdot \lambda}{(EI)_p} B_{\theta(\theta)}\right] l_0 + \frac{\lambda^2 l_0}{(EI)_p} B_{y(\theta)} + \frac{l_0^3}{3(EI)_p}; \qquad (116)$$

$$\delta_{x\theta} = \delta_{\theta x} = \frac{\lambda^2}{(EI)_p} B_{y(\theta)} + \left[\frac{\lambda}{(EI)_p} B_{\theta(\theta)}\right] l_0 + \frac{l_0^2}{2(EI)_p}; \qquad (117)$$

$$\delta_\theta = \frac{\lambda}{(EI)_p} B_{\theta(\theta)} + \frac{l_0}{(EI)_p}; \qquad (118)$$

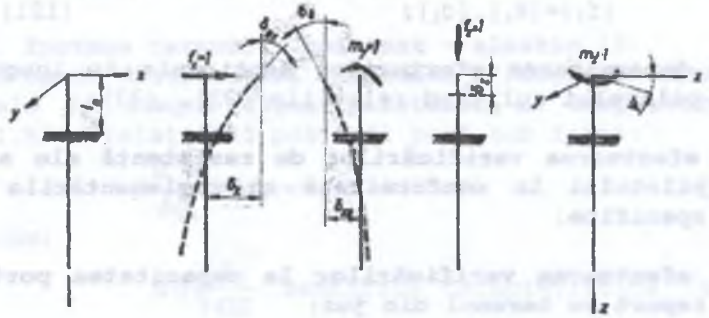


Fig. 1.88. Determinarea deplasărilor pilotului izolat cu fişă liberă.

Se recomandă utilizarea valorilor diferenţiate ale flexibilităţii piloţilor comprimaţi şi solicitaţi la tracţiune.

Pentru grade de libertate necuplate de translaţia axială deplasarea δ_z şi răsucirea d_ψ se determină astfel:

- ***la translaţie verticală:***

$\delta_z = s_0/N_0$ (117) - prin determinări pe piloţi de probă

unde:

s_0 - deplasarea capului pilotului;

N_0 - încărcarea axială permanentă aferentă deplasării s_0;

δ_z - determinat pe baza unor modele teoretice adecvate.

- ***la răsucire:***

δ_φ - determinat pe baza unor modele teoretice adecvate

2. **determinarea matricei de rigiditate [K] a grupului de piloţi în raport cu sistemul de axe Oxyz,** prin asamblarea rigidităţilor locale şi transformarea sistemelor de axe de coordonate;
3. **rezolvarea sistemului de ecuaţii:**

$$\{F\} = [K].\{D\}; \qquad (119)$$

determinând vectorul deplasărilor radierului {D};

4. **determinarea vectorului deplasărilor $\{d_i\}$ aferent capului fiecărui pilot în raport cu sistemul propriu de axe $O_i x_i y_i z_i$:**

$$\{d_i\}=[r_i].[l_i].\{D\}; \qquad (120)$$

unde:

$[r_i]$ - matricea de transformare a axelor prin rotaţie;

$[l_i]$ - matricea de transformare a axelor prin translaţie;

5. **determinarea solicitărilor pe capul pilotului:**

$$\{f_i\}=[K_i].[d_i]; \qquad (121);$$

6. **determinarea eforturilor secţionale în lungul fişei pilotului** aplicând relaţiile (92), (93);
7. **efectuarea verificărilor de rezistenţă ale secţiunii pilotului în conformitate cu reglementările tehnice specifice;**
8. **efectuarea verificărilor la capacitatea portantă în raport cu terenul din jur;**

9. efectuarea după caz a verificării la starea limită de deformaţii.

În cazul **grupului plan de piloţi cu radier rigid**, fig. 1.89 mersul calculelor este similar grupului spaţial prezentat anterior, sistemul de ecuaţii 119 rezultând de forma:

$$\{F\}=[K].\{D\}$$

$$\begin{cases} F_x=K_{xx}.u + K_{xz}.w + K_{x\theta}.\theta_y \\ F_z=K_{zx}.u + K_{zz}.w + K_{z\theta}.\theta_y \\ M_y=K_{\theta x}.u + K_{\theta z}.w + K_{\theta\theta}.\theta_y \end{cases} ; \qquad (121)$$

unde:

$$K_{xx}=\sum_1^{n_p}\left(K_x\cdot\cos^2\alpha+K_z\cdot\sin^2\alpha\right); \qquad (122)$$

$$K_{xz}=K_{zx}=\sum_1^{n_p}\left(K_z-K_x\right)\sin\alpha\cdot\cos\alpha\ ; \qquad (123)$$

$$K_{x\theta}=K_{\theta x}=\sum_1^{n_p}x_i\left(K_x-K_z\right)\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\sum_1^{n_p}K_{x\theta}\cdot\cos\alpha\ ; \qquad (124)$$

$$K_{zz}=\sum_1^{n_p}\left(K_z\cdot\cos^2\alpha+K_x\cdot\sin^2\alpha\right); \qquad (125)$$

$$K_{z\theta}=K_{\theta z}=\sum_1^{n_p}x_i\left(K_x\cos^2\alpha+K_x\sin^2\alpha\right)-\sum_1^{n_p}K_{z\theta}\cdot\sin\alpha\ ; \qquad (126)$$

$$K_{\theta\theta}=\sum_1^{n_p}x_i^2\left(K_z\cdot\cos^2\alpha+K_x\cdot\sin^2\alpha\right)+\sum_1^{n_p}K_\theta\ ; \qquad (127)$$

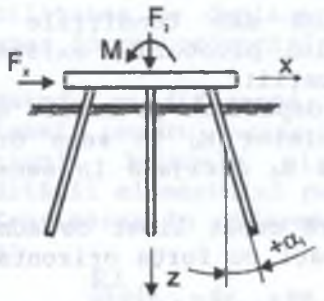


Fig. 1.89. Grupul plan de piloţi cu radier rigid.

c. Ipoteza terenului constant - elastic [9]

În cazul distribuţiei constante a coeficientului reacţiunii laterale în lungul fişei pilotului cu comportare elastică, fig. 1.83c, relaţia 85 poate fi pusă sub forma:

$$\frac{d^4y}{dz^4}+4\alpha^4y=0\ ; \qquad (128)$$

unde:

$\alpha=\sqrt[4]{\frac{E_0}{4EI}}$ semnifică caracteristica de comportare a ansamblului pilot-teren.

Inversul mărimi α reprezintă lungimea caracteristică sau elastică a pilotului aflat în conlucrare cu terenul: $Le=\frac{1}{\alpha}=\sqrt[4]{\frac{4EI}{E_0}}$.

Soluţia ecuaţiei diferenţiale (128) este de forma:

$$y=e^{\alpha z}(C_1\cos\alpha z+C_2\sin\alpha z)+e^{-\alpha z}(C_3\cos\alpha z+C_4\sin\alpha z); \quad (129)$$

Având în vedere alura deformatei pilotului în raport cu adâncimea şi neglijând efectul acţiunii verticale rezultă:

pentru $z\to\infty$ => $y=0$ => $C_1=C_2=0$

iar soluţia ecuaţiei devine de forma:

$$y=e^{-\alpha z}(C_3.\cos\alpha z+C_4.\sin\alpha z); \quad (130)$$

Derivatele funcţiei y asigură relaţiile de legătură dintre deformaţia pilotului şi mărimile statice în lungul fişei acestuia:

$$\frac{dy}{dz}=\theta_{(z)}=\alpha\cdot e^{-\alpha z}[(-C_3+C_4)\cos\alpha z-(C_3+C_4)\sin\alpha z]; \quad (131)$$

$$\frac{d^2y}{dz^2}=-\frac{M_{(z)}}{EI}=2\alpha^2\cdot e^{-\alpha z}(C_3\sin\alpha z-C_4\cos\alpha z); \quad (132)$$

$$\frac{d^3y}{dz^3}=-\frac{Q_{(z)}}{EI}=2\alpha^3\cdot e^{-\alpha z}[(C_4-C_3)\sin\alpha z+(C_3+C_4)\cos\alpha z]; \quad (133)$$

Constantele C_3 şi C_4 se determină din condiţiile de încărcare şi deformare-rotire ale capului pilotului, existând din aceste considerente următoarele situaţii:

- cazul piloţilor verticali cu deplasare şi rotire ale capului pentru moment încovoietor M_0 în sens orar (pozitiv) şi forţa orizontală H_0 dirijată în sensul axei y;
- cazul piloţilor verticali fără capăt liber ce admit deplasarea fără rotire încărcaţi cu forţa orizontală H_0;
- cazul pilotului vertical cu capăt liber ce admite deplasare fără rotire, încărcat cu forţa orizontală H_0;
- cazul pilotului vertical fără capăt liber ce admite deplasare şi rotire, încărcat cu forţa orizontală H_0;
- cazul piloţilor verticali fără capăt liber, ce admite deplasare şi rotire, încărcat cu momentul M_0;
- cazul pilotului vertical cu capăt liber încărcat cu forţa orizontală H_0;
- cazul pilotului vertical ce admite rotire fără deplasare încărcat cu momentul încovoietor M_0.

Relaţiile de calcul obţinute în urma determinării constantelor C_3 şi C_4 pentru situaţiile de încărcare şi condiţiile de deplasare-rotire prezentate sunt valabile numai în ipoteza comportării elastice a terenului în lungul fişei pilotului.

Dacă în urma deplasării laterale a pilotului se produce ruperea zonală a pământului prin depăşirea rezistenţei pasive este necesară cunoaşterea extinderii în adâncime a acesteia, iar conlucrarea pilot-teren să fie considerată pe fişa redusă a pilotului, astfel:

$$L_r = L_t - z; \quad [m], \tag{134}$$

unde:

L_r - fişa redusă a pilotului, [m];
L_t - fişa totală a pilotului, [m];
z - adâncimea în metri pe care s-a depăşit rezistenţa pasivă a pământului.

Determinarea extinderii în adâncime a zonei de rupere pasivă a pământului se face din condiţia de egalitate a presiunii efective de contact cu presiunea pasivă.

Rezolvarea ecuaţiei (85) se poate face şi prin **utilizarea unor grafice sau prin metoda cu diferenţe finite** [9].

Metoda utilizării graficelor asigură o rezolvare rapidă a ecuaţiei însă conduce la un anumit grad de aproximare a caracteristicilor secţionale în lungul fişei pilotului.

Întocmirea graficelor au în vedere diverse situaţii privind posibilitatea de deplasare şi rotire a capului pilotului sub acţiunea forţei orizontale.

Metoda cu diferenţe finite prezintă avantajul rezolvării problemei pentru orice tip de variaţie a coeficientului reacţiunii laterale şi asigură posibilitatea modificării rigidităţii elementului pe lungimea sa.

Exprimarea în diferenţe finite a ecuaţiei (85) conduce la forma:

$$\frac{E_i I_i}{\Delta z^4}\left(y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2}\right) = -\bar{p}_r; \tag{135}$$

în care:

Δ_z - reprezintă mărimea de discretizare a panourilor de pilot.

Admiţând modalitatea de rezolvare a grinzilor pe mediu elastic prin considerarea la extremele pilotului a câte două panouri fictive, se poate obţine plecând de la ecuaţia (135) un sistem de n+1 ecuaţii cu n+5 necunoscute, în care momentele suplimentare sunt reprezentate de valorile y ale panourilor fictive.

Transformarea sistemului de ecuaţii în unul de formă pătratică, se face prin adăugarea la cele n+1 ecuaţii a încă 4

ecuaţii de condiţie ale caracteristicilor secţionale aferente panourilor extreme ale pilotului.

3. Cazul piloţilor scurţi cu comportare rigidă [9]

Piloţii scurţi (L/d<10) consideraţi cu comportare rigidă prezintă în lungul fişei o variaţie liniară a deplasărilor, iar acţiunile M_0 şi H_0 pe capul pilotului determină o rotire θ în jurul unui punct situat la adâncimea z_0 faţă de suprafaţa terenului, fig. 1.90a.

Expresia deplasărilor $y_{(z)}$ poate fi exprimată în acest caz sub forma:

$$y_{(z)}=y_0-\operatorname{tg}\theta.z; \qquad (136)$$

unde:

y_0 - deplasarea orizontală a pilotului la nivelul suprafeţei terenului;

θ - rotirea pilotului faţă de punctul N situat la adâncimea z_0,

iar $\operatorname{tg}\theta=y_0/z_0$.

În ipoteza terenului elastic cu variaţie liniară în adâncime a coeficientului reacţiunii laterale, fig. 1.90b, presiunea reactivă pe unitatea de fişă a pilotului se determină cu ajutorul relaţiei:

$$\bar{P}_{(z)}=\bar{p}_{(z)}\cdot b=K_{dz}\cdot y_{(z)}\cdot b=K\cdot z(y_0-\operatorname{tg}\theta\cdot z)b; \qquad (137)$$

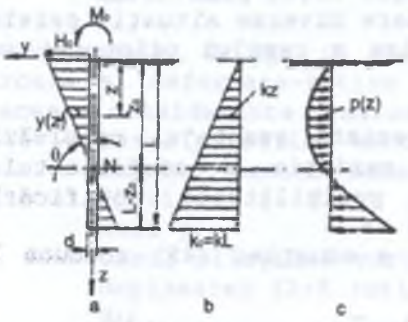


Fig. 1.90. Comportarea piloţilor scurţi.
a. variaţia în adâncime a deplasării orizontale a pilotului;
b. distribuţia liniară a coeficientului reacţiunii laterale;
c. distribuţia reacţiunii laterale în lungul fişei pilotului.

Eforturile secţionale în lungul fişei pilotului se determină pe baza relaţiilor diferenţiale de legătură dintre acestea şi încărcări exprimate sub forma presiunii reactive a terenului, astfel:

$$\frac{dQ}{dz}=-\bar{p}_{(z)}\Rightarrow Q_z=-\int\bar{p}_{(z)}dz=-K\cdot b\left(\frac{y_0\cdot z^2}{2}-\operatorname{tg}\theta\frac{z^3}{3}\right)+C_1$$

$$\frac{dM}{dz}=Q_{(z)}\Rightarrow M_{(z)}=\int Q_{(z)}dz=-K\cdot b\left(\frac{y_0\cdot z^3}{6}-\operatorname{tg}\theta\frac{z^4}{12}\right)+C_1\cdot z+C_2$$

Constantele C_1, C_2 se determină din condiţii de capăt ale pilotului:

$$\text{pentru } z=0 \Rightarrow \begin{matrix} Q_{(0)} = H_0; \\ M_{(0)} = M_0; \end{matrix} \Longrightarrow \begin{matrix} C_1 = H_0 \\ C_2 = M_0 \end{matrix}$$

iar expresiile eforturilor secţionale devin:

$$Q_{(z)} = H_0 - \frac{K \cdot b \cdot y_0 \cdot z^2}{2} + tg\theta \frac{K \cdot b \cdot z^3}{3}; \qquad (138)$$

$$M_{(z)} = M_0 + H_0 \cdot z - \frac{K \cdot b \cdot y_0 \cdot z^3}{6} + tg\theta \frac{K \cdot b \cdot z^4}{12}; \qquad (139)$$

Pentru $K=K_{0L}$ corespunzător adâncimii $z=L$ şi $E_{0L}=K_{0L}.b$, expresiile 138 şi 139 pot fi scrise astfel:

- **pentru $K=K_{0L}$**

$$Q_{(z)} = H_0 - \frac{K_{0L} \cdot b \cdot y_0 \cdot z^2}{2L} + tg\theta \frac{K_{0L} \cdot b \cdot z^3}{3L}; \qquad (140)$$

$$M_{(z)} = M_0 + H_0 \cdot z - \frac{K \cdot b \cdot y_0 \cdot z^3}{6L} + tg\theta \frac{K \cdot b \cdot z^4}{12L}; \qquad (141)$$

- **pentru $E_{0L} = K_{0L}.b$**

$$Q_{(z)} = H_0 - \frac{E_{0L} \cdot y_0 \cdot z^2}{2L} + tg\theta \frac{E_{0L} \cdot z^3}{3L}; \qquad (142)$$

$$M_{(z)} = M_0 + H_0 \cdot z - \frac{E_{0L} \cdot y_0 \cdot z^3}{6L} + tg\theta \frac{E_{0L} \cdot z^4}{12L}; \qquad (143)$$

în care:

E_{0L} - reprezintă modulul reacţiunii laterale pentru $z=L$

Neglijând momentul încovoietor şi forţa tăietoare determinate de presiunile reactive de la baza pilotului şi înlocuind în relaţiile (142), (143) pe $z=L$, în urma rezolvării sistemului de ecuaţii astfel obţinut, rezultă:

ptr. $z=0$, din condiţiile: $\Rightarrow$

$$Q_{(L)=0}: \quad y_0 = \frac{24}{L^2 \cdot E_{0L}} \left(M_0 + \frac{3}{4} H_0 \cdot L \right); \qquad (144)$$

$$M_{(L)=0}: \quad tg\theta = \frac{12}{L^2 \cdot E_{0L}} \left(\frac{3M_0}{L} + 2H_0 \right); \qquad (145)$$

Mărimile y_0, $tg\theta$ determină poziţia punctului N situat la adâncimea z_0, fig. 1.90a.

$$z_0 = \frac{y_0}{tg\theta} = \frac{L(4M_0 + 3H_0 \cdot L)}{2(3M_0 + 2H_0 \cdot L)}; \qquad (146)$$

Dacă se ia în considerare momentul încovoietor M_L de la baza pilotului fig. 1.91, pentru evaluarea sa se pleacă de la ipoteza comportării elastice a terenului caracterizat printr-un coeficient de reacţiune verticală, K_v, ce variază liniar cu adâncimea: $K_{vL} = K_L$.

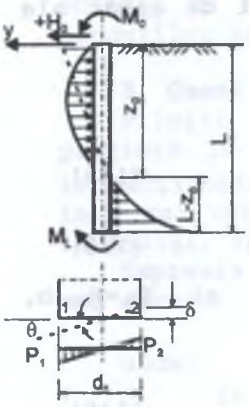


Fig. 1.91. Comportarea piloţilor scurţi considerând şi acţiunea momentului încovoietor M_L la bază.

Tendinţa de rotire a pilotului în jurul punctului situat la adâncimea z_0 determină la nivelul vârfului presiunile reactive p_1, p_2, fig. 1.91.

Presiunea reactivă maximă p_1 va avea valoarea:

$$\left.\begin{aligned} p_1 &= K_{vL}\cdot\delta \\ \delta &= \frac{d_t}{2}\cdot\operatorname{tg}\theta \end{aligned}\right| \Rightarrow p_1 = K_{vL}\cdot\frac{d_t}{2}\cdot\operatorname{tg}\theta \;\Bigg|\; \begin{matrix} \\ K_{vL}\cdot d_t = E_{vL} \end{matrix} \Bigg| \Rightarrow p_1 = 0{,}5E_{vL}\cdot\operatorname{tg}\theta; \quad (147)$$

unde:

E_{vL} - modul de reacţiune verticală la adâncimea L.

Având în vedere expresia efortului unitar în cazul încovoierii pure: $p=\frac{M_L}{W_t}$, rezultă momentul încovoietor de la baza pilotului, astfel:

$$M_L = p.W_t = 0{,}5E_{vL}.\operatorname{tg}\theta.W_t; \quad (148)$$

În care:

W_t - modul de rezistenţă a secţiunii bazei pilotului.

Pentru z=L, condiţiile $M_{(z)}=M_L=M_t$ şi $Q_{(z)}=Q_{(L)}=0$ determină pentru relaţiile 144, 145, 146 următoarele expresii:

$$y_0 = \frac{36W_t\cdot H_0 + 6\beta\cdot L^2(3H_0\cdot L + 4M_0)}{E_{0L}(\beta\cdot L^3 + 18W_t)L}; \quad (149)$$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{12\beta(3M_0 + 2H_0\cdot L)}{E_{0L}(\beta\cdot L^3 + 18W_t)}; \quad (150)$$

$$z_0 = \frac{6W_t\cdot H_0 + \beta\cdot L^2(3H_0\cdot L + 4M_0)}{2L\cdot\beta(3M_0 + 2H_0\cdot L)}; \quad (151)$$

în care:

$\beta=\frac{E_{0L}}{E_{0v}}$, reprezintă raportul modulelor reacţiunii orizontale şi verticale la nivelul bazei pilotului.

Având cunoscute mărimile y_0, $tg\theta$, z_0, se poate determina în orice secţiune de-a lungul fişei pilotului, presiunea reactivă a terenului $\bar{p}_{(z)}$, forţa tăietoare $Q_{(z)}$ şi momentul încovoietor $M_{(z)}$, cu ajutorul relaţiilor 137, 140, 141, 142, 143.

1.4.2.2.1.3.2. Criterii de proiectare a piloţilor încărcaţi cu forţe transversale

În practica proiectării piloţilor încărcaţi lateral se are în vedere îndeplinirea următoarelor condiţii de rezistenţă şi deformaţii:

- eforturile secţionale în lungul fişei pilotului să nu determine eforturi unitare de întindere sau compresiune mai mari decât rezistenţa materialelor din care acesta este realizat;
- presiunile de contact pilot-teren să nu depăşească capacitatea portantă a terenului din jurul pilotului;
- deformaţiile efective ale piloţilor să nu depăşească deformaţiile admisibile comportării normale în exploatare.

Aceste criterii de calcul la stări limită (de capacitate portantă SLCP şi de deformaţie SLD) trebuie să conducă la evitarea cedării pilotului şi/sau a corpului pilotului prin formarea de articulaţii plastice.

Îndeplinirea acestui deziderat presupune la rândul său cunoaşterea presiunilor critice orizontale ale terenului $p_{cr.o}$ sau a încărcării critice orizontale $H_{cr.o}$ care ar putea determina ruperea (cedarea) terenului şi/sau apariţia articulaţiilor plastice în corpul pilotului.

Pentru stabilirea presiunii critice orizontale $p_{cr.o}$ se admite că cedarea terenului în zona de suprafaţă prezintă caracterul unei ruperi pasive şi prin plasticizare în rest, aşa cum este ilustrat în fig. 1.92.

Fig. 1.92. Cedarea terenului în cazul piloţilor încărcaţi orizontal.

Grosimea zonei pasive este dependentă de valoarea deplasărilor ce se produc în teren, egale cu deplasările y ale pilotului.

Pentru o bună comportare în exploatare a fundaţiilor pe piloţi, extinderea zonei pasive notată z_{cr} este limitată la anumite valori [3], astfel: $Z_{cr}=(1,5\div3)d$.

În continuare sunt prezentate diverse relaţii de calcul pentru presiunea critică orizontală $p_{cr.o}$, forţa critică orizontală $H_{cr.o}$ şi înălţimea zonei pasive z_{cr}, în cazul piloţilor verticali încărcaţi cu forţe orizontale ce străbat pământuri coezive sau necoezive.

Astfel:

- **cazul pământurilor coezive**
  - pentru pământuri cu coeziune şi frecare, Brinch Hansen propune relaţia de calcul:

$$p_{\sigma.o}=(\gamma_z+q)\left[K_{pq}\frac{z}{b}+K_{pq(z=0)}\right]+c\cdot K_{pc}; \qquad (152)$$

în care:

z - adâncimea la care se determină presiunea critică orizontală;

q - suprasarcina la nivelul terenului;

K_{pq}; K_{pc} - coeficienţii reacţiunii laterale pasive, fig. 1.93;

$K_{pq(z=0)}$ - coeficientul reacţiunii laterale pentru z=0;

b, c - laturile secţiunii piloţilor rectangulari.

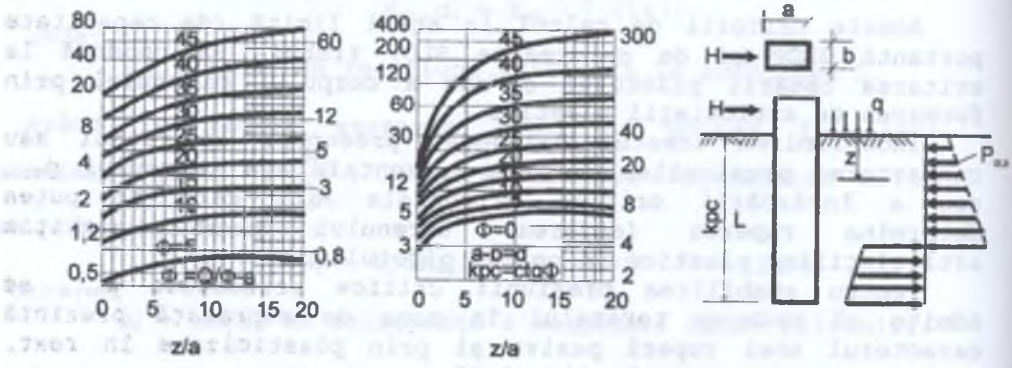


Fig. 1.93. Coeficienţii reacţiunii laterale pasive pentru terenuri încărcate de elemente cu secţiune rectangulară.

- pentru pământuri argiloase saturate, normal consolidate sau cu grad redus de supraconsolidare în condiţii nedrenate, Matlook recomandă relaţia de calcul:

$$p_{\sigma.o}=d\cdot p_{\sigma.o}=N_{pc}\cdot c_u\cdot d=p_{\sigma.o(z=0)}+\beta\cdot c_u\cdot z; \qquad (153)$$

în care:

$$N_{pc}=3+\frac{\sigma'_{vo}}{c_u}+\beta\cdot\frac{z}{d}, \text{ când } z>z_{cr}; \qquad (154);$$

$N_{pc}=9\div10$, când $z<z_{cr}$; (155);

β - factor adimensional funcţie de mobilizarea coeziunii în adâncime;

σ'_{vo} - efortul unitar vertical efectiv datorat greutăţii proprii la adâncimea z;

- pentru $z=z_{cr}$, din egalitatea: $N_{pc(relaţia154)}=N_{pc(relaţia\ 155)}$ rezultă:

$$z_{cr}=\frac{d}{\beta}\left(6-\frac{\sigma'_{vo}}{c_u}\right); \qquad (156);$$

- pentru argile supraconsolidate având „c_u" constant în adâncime şi $\sigma'_{vo}=\gamma'.p_{cr}$, rezultă:

$$z_{cr}=\frac{6}{\frac{\gamma'}{c_u}+\frac{\beta}{d}}; \qquad (157);$$

- pentru argile normal consolidate având rezistenţa nedrenată în adâncime „c_u" de forma $c_u=\alpha.\sigma'_{vo}$, înălţimea zonei pasive va avea expresia:

$$z_{cr}=\frac{d}{\beta}\left(6-\frac{1}{\alpha}\right); \qquad (158)$$

în care:

coeficientul de proporţionalitate α se recomandă a fi stabilit pe baza relaţiei:

$$\alpha = 0,11 + 0,0037I_p;$$

- pentru pământuri coezive cu frecare, în ipoteza Rankine presiunea critică orizontală poate fi definită ca diferenţă între presiunea pasivă şi activă unitară, iar în urma efectuării calculelor rezultă:

$$p_{cr,o}=\eta_1\cdot\eta_2\frac{4}{\cos\phi}(\sigma_z\cdot tg\phi+c); \qquad (159)$$

în care:

σ_z - sarcina geologică la adâncimea z;

ϕ, c - valorile de calcul ale unghiului de frecare internă şi a coeziunii pământului la adâncimea z;

η_1 - coeficient funcţie de sistemul static al suprastructurii, recomandat a avea valoarea 0,7 pentru arce bolţi şi 1 în rest;

η_2 - coeficient funcţie de ponderea încărcării permanente din încărcarea totală.

Încărcarea critică orizontală ce determină cedarea terenului şi/sau a pilotului se poate stabili cu ajutorul graficelor propuse de Broms [3]; [13].

- **cazul pământurilor necoezive**
  - forţa critică orizontală determinată din condiţia ruperii pasive a terenului
    - pentru piloţi rigizi cu capăt liber ce admit deplasarea şi rotirea secţiunii superioare:

$$H_{cr.o} = \frac{\sigma \cdot d \cdot L^3 \cdot K_p}{2(h+L)}; \qquad (160)$$

- piloţi rigizi, fără posibilitate de rotire:

$$H_{cr.o} = \frac{1}{2}\gamma \cdot L^2 \cdot d \cdot K_p, \text{ pentru } h=0 \qquad (161)$$

în care:

d - diametrul pilotului;

L - fişa pilotului;

h - lungimea pilotului situată deasupra nivelului terenului;

K_p - coeficientul împingerii pasive în ipoteza Rankine;

- pentru piloţi cu capăt liber ce admite deplasare şi rotire, forţa critică orizontală corespunzătoare formării articulaţiei plastice se determină din condiţia de egalitate a momentului maxim (M_{max}) cu momentul capabil (M_{cap}) al secţiunii transversale a pilotului:

$$M_{max}=M_{cap}$$

$$M_{cap} = H_{cr.o}\left(h + \sqrt{\frac{2H_{cr.o}}{\gamma \cdot d \cdot K_{p\gamma}}}\right) - \frac{1}{3}H_{cr.o}\sqrt{\frac{2H_{cr.o}}{\gamma \cdot d \cdot K_{p\gamma}}}; \qquad (162)$$

în care:

$K_{p\gamma}$ - reprezintă coeficientul împingerii pasive pentru condiţii reale de deplasare şi mobilizare a împingerii în ipoteza Rankine.

Momentul încovoietor maxim rezultă în secţiunea în care forţa tăietoare este zero, respectiv în secţiunea situată la adâncimea z în lungul fişei pilotului:

$$z_{T=0} = \sqrt{\frac{2H_{cr.o}}{\gamma \cdot d \cdot K_{p\gamma}}} = \sqrt{\frac{2H_{cr.o}}{3\gamma \cdot d \cdot K_p}}; \text{ pentru } K_{p\gamma}=3K_p \qquad (163)$$

Dependenţa încărcării critice orizontale $H_{cr.o}$ funcţie de rapoartele L/d, h/L şi momentul încovoietor capabil al secţiunii pilotului este redată sugestiv după Broms în fig. 1.94a respectiv fig. 1.94b.

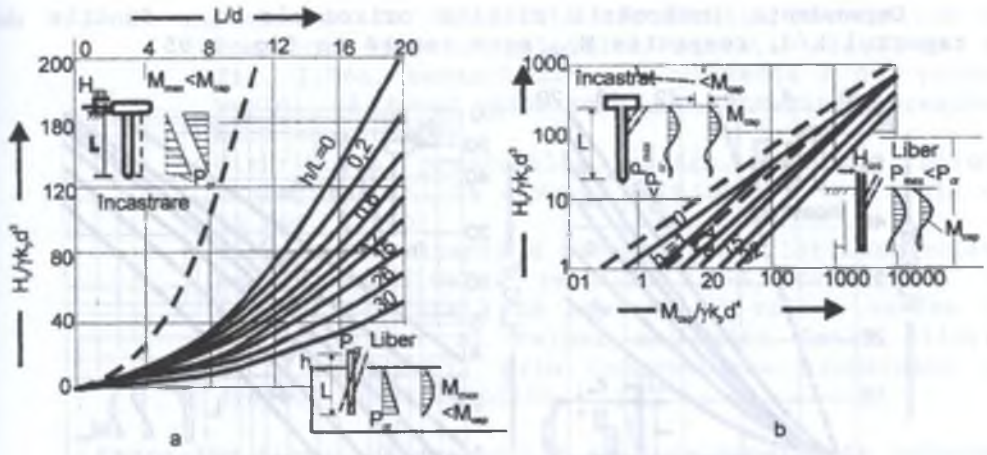


Fig. 1.94. Dependența încărcării critice orizontale funcție de:
a. rapoartele L/d și h/L pentru piloții rigizi;
b. momentul încovoietor capabil al secțiunii pilotului flexibil.

- **cazul pământurilor argiloase saturate**
  - forța critică orizontală determinată din condiția mobilizării rezistenței nedrenate „c_u", astfel:
    - pentru piloți rigizi cu capăt liber ce admit deplasare și rotire:

$$H_{cr.o} = \frac{N_{pc} \cdot c_u \cdot d(L - z_T - z_\sigma)^2}{2(h + z_\sigma + z_T/2)}; \qquad (164)$$

în care:

z_T - reprezintă adâncimea la care forța tăietoare este zero și se determină cu relația:

$$z_T = \frac{H_{cr.o}}{N_{pc} \cdot c_u \cdot d}; \qquad (165)$$

N_{pc} - factor de portanță

- pentru piloți rigizi încastrați în radier, cu h=0:

$$H_{cr.o} = N_{pc} \cdot c_u \cdot d(L - z_{cr}); \qquad (166)$$

  - forța critică orizontală determinată din condiția formării articulației plastice ($M_{max}=M_{cap.T=0}$), astfel:
    - pentru piloți rigizi cu capăt liber:

$$H_{cr.o} = \frac{M_{cap}}{(h + z_\sigma + z_T/2)}; \qquad (167)$$

- pentru piloți flexibili încastrați:

$$H_{cr.o} = \frac{2M_{cap}}{(z_\sigma + z_T/2)}; \qquad (168)$$

Dependenţa încărcării critice orizontale $H_{cr.o}$ funcţie de raportul L/d, respectiv M_{cap} este redată în fig. 1.95.

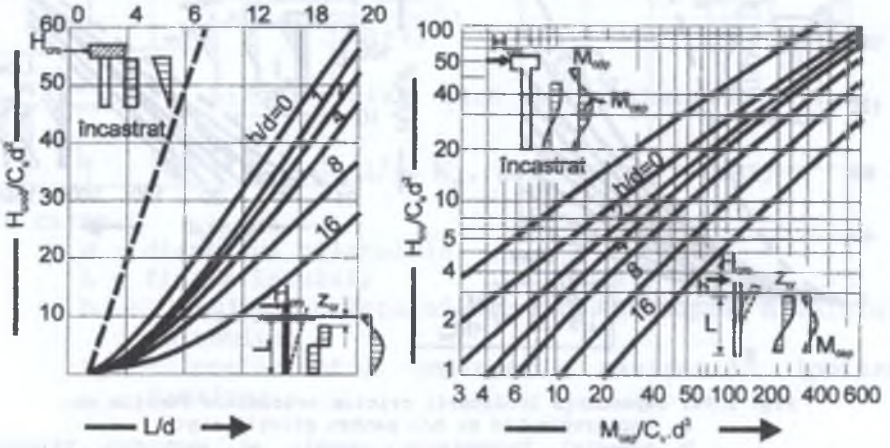


Fig. 1.95. Dependenţa după Broms a încărcării critice orizontale $H_{cr.o}$ funcţie de L/d şi M_{cap} pentru argile saturate.
a. piloţi rigizi;
b. piloţi flexibili.

1.4.2.2.2. Capacitatea portantă a grupei de piloţi

1.4.2.2.2.1. Comportarea grupei de piloţi la forţe verticale

În practica executării fundaţiilor pe piloţi există puţine situaţii în care aceştia apar izolaţi, în majoritatea cazurilor soluţia de fundare are în componenţă un anumit număr de piloţi ce formează o grupă având rolul de a satisface criteriile impuse de calculul la stări limită.

Comportarea piloţilor în grup este diferită de cea a piloţilor izolaţi datorită naturii pământului în prezenţa căruia aceştia lucrează, tipul pilotului şi modul de transfer la teren a încărcărilor preluate de piloţi.

1.4.2.2.2.1.1. Comportarea în grup a piloţilor purtători pe vârf

În cazul piloţilor purtători pe vârf sau de rezistenţă încărcarea verticală este transmisă aproape în totalitate stratului de pământ de compresibilitate redusă în care pătrunde vârful pilotului.

Urmărind diagramele de distribuţie a presiunilor dezvoltate la nivelul vârfurilor a doi piloţi purtători pe vârf vecini, fig. 1.96, se constată următoarele:

- izobarele ce reprezintă distribuţia presiunilor în zona de vârf a piloţilor izolaţi arată ca în fig. 1.96a, remarcându-se în prezenţa a doi piloţi vecini că numai izobarele ce reprezintă presiuni mici se apropie;
- distribuţia presiunilor pentru cei doi piloţi izolaţi vecini la nivelul secţiunii A - A arată ca în fig. 1.96b;
- diagrama rezultantă a presiunilor piloţilor izolaţi vecini la nivelul secţiunii A-A, prezentată în fig. 1.96c, arată că acestea au valori maxime în axa piloţilor şi valori mai mici între piloţi, lucru explicabil prin concentrarea izobarelor în dreptul fiecărui pilot.

Cunoscând faptul că presiunile scad în general în adâncime rezultă că şi presiunile rezultante prin suprapunere nu sunt esenţiale pentru solicitarea stratului rezistent de grosime mare în care pătrund vârfurile piloţilor, astfel încât se poate concluziona că, **piloţii vecini purtători pe vârf nu se influenţează defavorabil în privinţa distribuţiei presiunilor pe teren.**

Ca urmare a acestui fapt, capacitatea portantă a unui pilot izolat ($R_{pilot\ izolat}$) este egală cu capacitatea portantă a unui pilot din cadrul grupei de piloţi ($R_{pilot\ grup}$):

$$R_{pilot\ izolat}=R_{pilot\ grup}; \qquad (18).$$

Relaţia 168 este îndeplinită numai dacă grosimea stratului rezistent este mare.

Dacă stratul de rezistenţă de grosime mai mică este aşezat pe un strat mai slab, neconistent, acesta din urmă va suferi tasări importante mai mari în cazul grupei de piloţi decât în cazul unui pilot izolat datorită presiunilor mari şi pe adâncime mai mare transmise de grupa faţă de piloţii izolaţi, motiv pentru care piloţii purtători pe vârf se împart în două categorii:

- **piloţi purtători pe vârf categoria I** (stratul de rezistenţă de sub vârful pilotului are grosime mare);

- **piloţi purtători pe vârf de categoria II** (stratul de rezistenţă de sub vârful pilotului are grosime redusă).

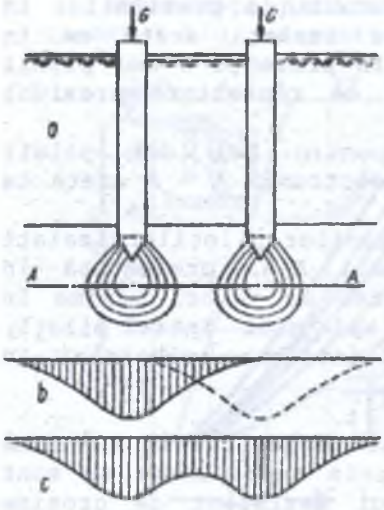


Fig. 1.96. Distribuţia la teren a presiunilor transmise de doi piloţi purtători pe vârf vecini.
a. distribuţia izobarelor sub vârfurile a doi piloţi vecini purtători pe vârf;
b. distribuţia separată a presiunilor la nivelul secţiunii A-A a piloţilor izolaţi vecini;
c. diagrama rezultantă a presiunilor la nivelul secţiunii A - A a piloţilor izolaţi vecini.

1.4.2.2.2.1.2. Comportarea în grup a piloţilor flotanţi

În cazul piloţilor flotanţi ce străbat un teren omogen distribuţia izobarelor şi a presiunilor la nivelul vârfurilor piloţilor vecini este prezentată în fig. 1.97 şi arată că:

- extinderea izobarelor la nivelul vârfurilor piloţilor flotanţi izolaţi se face pe o suprafaţă mare, fig. 1.97a;
- distribuţia presiunilor sub vârfurile piloţilor flotanţi izolaţi vecini arată ca în fig. 1.97b şi cuprinde o arie cu extindere mare;
- diagrama rezultantă a presiunilor are alura din fig. 1.97c, înregistrându-se intensitatea maximă între cei doi piloţi vecini care depăşeşte valoarea corespunzătoare axelor piloţilor izolaţi.

Din cele prezentate rezultă că piloţii flotanţi dispuşi în grup se influenţează nefavorabil, iar între capacitatea portantă a unui pilot din cadrul grupei ($R_{pilot\ grup}$) şi capacitatea portantă a unui pilot izolat ($R_{pilot\ izolat}$), există inegalitatea:

$$R_{pilot\ grup} < R_{pilot\ izolat}; \qquad (169).$$

Diverse publicaţii tehnice conţin expresia coeficientului de legătură ξ între capacitatea portantă a unui pilot lucrând în grup şi capacitatea portantă a pilotului izolat, astfel:

$$\xi = 1 - \frac{1}{90}\operatorname{arc\,tg}\frac{d}{e}\left(2 + \frac{m+K}{m \cdot K}\right); \qquad (170)$$

în care:

d - diametrul pilotului;

e - distanţa dintre axele piloţilor;
m - numărul rândurilor de piloţi;
K - numărul piloţilor de pe un rând,

iar capacitatea portantă a grupei compuse din n piloţi, ($R_{grupă}$), va avea expresia:

$$R_{grupă}=\xi.n.R_{pilot\ izolat}; \qquad (171)$$

unde:

n - numărul piloţilor din cadrul grupei.

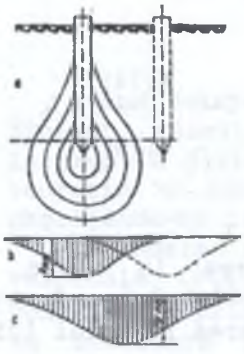


Fig. 1.97. Distribuţia izobarelor şi a diagramelor de presiuni aferente piloţilor flotanţi vecini.
a. distribuţia izobarelor în zona de vârf a piloţilor izolaţi;
b. diagramele de presiuni la nivelul vârfurilor a doi piloţi vecini;
c. diagrama rezultantă a presiunilor la nivelul vârfurilor a doi piloţi vecini.

Interacţiunea reciprocă dintre piloţii flotanţi lucrând în grup determină eforturi unitare verticale în planul vârfurilor piloţilor şi corespunzător acestora tasări ale terenului diferite de cele ale pilotului flotant izolat.

1.4.2.2.2.1.3 Calculul eforturilor unitare normale în planul vârfului pilotului flotant

Pentru calcul se poate aplica **metoda Bierbaumer** corespunzător căreia transmiterea la teren a încărcării verticale ce revine pilotului se face sub formă conică, iar distribuţia eforturilor normale în planul vârfului are forma unui paraboloid, fig. 1.98.

Corespunzător acestei metode, unui tronson elementar d_z din lungimea totală L a pilotului, îi revine o cotă parte $\left(\frac{P\cdot d_z}{L}\right)$ din încărcarea P.

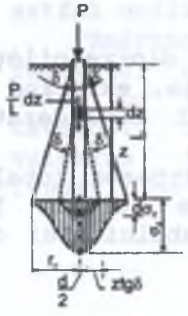


Fig. 1.98. Distribuţia la teren a încărcării şi a eforturilor unitare normale în planul vârfului pilotului flotant.

Din condiţia de echilibru static între forţa verticală corespunzătoare tronsonului elementar d_z şi rezultanta eforturilor unitare normale aferente zonei de influenţă de rază $\frac{d}{2}+z\cdot tg\delta$, rezultă:

$$\Sigma Y = 0; \tag{172}$$

$$\frac{P\cdot d_z}{L} - d\cdot\sigma_z\cdot\frac{\pi\left(\frac{d}{2}+z\cdot tg\,\delta\right)^2}{2}=0; \tag{173}$$

$$\frac{P\cdot d_z}{L} = d\sigma_z\cdot\frac{\pi\left(\frac{d}{2}+z\cdot tg\,\delta\right)^2}{2}; \tag{174}$$

$$d\sigma_z = \frac{2P\cdot d_z}{\pi\cdot L\left(\frac{d}{2}+z\cdot tg\,\delta\right)^2}; \tag{175}$$

Având în vedere faptul că transmiterea la teren a încărcării P se face pe toată lungimea L a pilotului, efortul unitar normal maxim σ_z va rezulta prin integrarea relaţiei 175, astfel:

$$\sigma_z = \int_0^L \frac{2P\cdot d_z}{\pi L\left(\frac{d}{2}+z\cdot tg\,\delta\right)^2}; \tag{176}$$

$$\sigma_z = \frac{2P\cdot L}{\pi\cdot L\cdot\frac{d}{2}\left(\frac{d}{2}+L\cdot tg\,\pi\right)} = \frac{2P}{\pi\cdot\frac{d}{2}\left(\frac{d}{2}+L\cdot tg\,\delta\right)}; \tag{177}$$

Neglijând termenul $\frac{d^2}{4}$ datorită dimensiunilor reduse ale secţiunii transversale (diametrului) pilotului, relaţia (177) devine:

$$\sigma_z = \frac{4P}{\pi d\cdot L\cdot tg\,\delta}; \tag{178}$$

1.4.2.2.1.4. Extinderea zonei de influenţă a unui pilot izolat flotant

Factorul principal ce determină interacţiunea dintre piloţi îl constituie distanţa de dispunere dintre aceştia, existând o valoare limită pentru care influenţa poate fi considerată practic neglijabilă.

Din condiţia de echilibru static între încărcarea totală verticală P şi rezultanta eforturilor unitare normale în planul vârfului pilotului având distribuţia paraboloidului de

rotaţie de rază r_0, fig. 1.98 şi considerând relaţia (178), va rezulta:

$$\Sigma Y = 0; \tag{179}$$

$$P - \sigma_z \cdot \frac{\pi \cdot r_0^2}{2} = 0; \tag{180}$$

$$P = \sigma_z \cdot \frac{\pi \cdot r_0^2}{2}; \tag{181}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{2P}{\pi \cdot \sigma_z}} = \sqrt{\frac{2P}{\pi \cdot \frac{4P}{\pi \cdot d \cdot L \cdot tg\,\delta}}} = L\sqrt{\frac{d \cdot tg\,\delta}{2L}}; \tag{182}$$

Având determinată raza de influenţă r_0 a pilotului izolat flotant, rezultă că spaţierea piloţilor flotanţi ce lucrează în grup la distanţe interax mai mari decât $2r_0$, asigură în mod teoretic o comportare similară piloţilor flotanţi izolaţi, neglijându-se practic influenţa reciprocă dintre aceştia.

Extinderea zonei conice de descărcare la teren a încărcării verticale totale P depinde de mărimea frecării pilot-teren considerată prin mărimea unghiului δ şi a adâncimii „z" la care se consideră planul în care sunt determinate eforturile unitare normale σ_z.

Literatura de specialitate conţine diverse situaţii cu privire la conlucrarea piloţilor şi extinderea zonei de interacţiune dintre aceştia, iar datele obţinute au condus la concluzia că atunci când distanţa dintre axele piloţilor flotanţi dispuşi în grup este egală sau mai mare decât 6d (d - diametrul pilotului), piloţii pot fi consideraţi ca lucrând izolat.

Când distanţa dintre axele piloţilor este cuprinsă între (3÷6)d, există interacţiune între aceştia, dar capacitatea portantă a grupei de piloţi nu scade semnificativ, motiv pentru care această spaţiere a piloţilor este considerată a fi cea mai raţională.

Piloţii flotanţi transmit presiunile în straturile mai adânci de teren atunci când fişa acestora depăşeşte lăţimea fundaţiei (radierului).

Dacă fişa piloţilor flotanţi este mai mică decât lăţimea fundaţiei (radierului), nu se asigură o repartizare favorabilă a presiunilor către straturile de teren adânci, evitându-se astfel utilizarea acestei categorii de piloţi.

Pământurile moi de argilă sunt contraindicate piloţilor flotanţi, datorită intrării în curgere în timpul baterii piloţilor prin distrugerea structurii interne a acestei categorii de pământ, iar rezultatul final îl constituie valoarea tasării obţinute, peste cea corespunzătoare fundaţiilor de suprafaţă.

1.4.2.2.2.2. Comportarea grupei de piloţi la forţe orizontale

Modelul Winkler de calcul acceptat în cazul piloţilor izolaţi încărcaţi cu forţe orizontale nu poate fi luat în considerare şi pentru grupa de piloţi unde se manifestă interacţiunea dintre piloţii grupei şi terenul din jur.

Pentru determinarea forţei orizontale ce revine unui pilot din cadrul grupei se apelează la teoria elasticităţii care asigură obţinerea unor rezultate mult mai apropiate de cele furnizate de încercările efectuate pe modele experimentale.

Determinarile experimentale efectuate pe piloţi încastraţi încărcaţi la nivelul radierului cu forţa orizontală H, fig. 1.99, au arătat că încărcarea orizontală H_i ce revine unui pilot „i" din cadrul grupei este invers proporţională cu mărimea L^4_{ei}, iar deplasarea orizontală y_{oi} a pilotului liber este direct proporţională cu mărimea L^3_{ei}, astfel:

$$H_i \xrightarrow{\text{invers proporţională}} L^4_{ei} \qquad (183)$$

$$y_i \xrightarrow{\text{direct proporţională}} L^3_{ei} \qquad (184)$$

în care:

L_{ei} - lungimea elastică a pilotului „i".

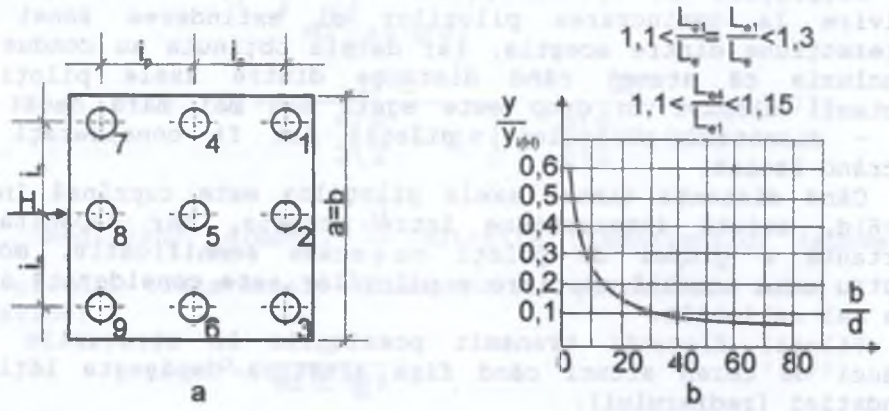


Fig. 1.99. Lungimea elastică şi deplasarea orizontală a piloţilor din cadrul grupei
a - lungimea elastică pentru diferiţi piloţi din cadrul grupei:
b - deplasarea orizontală a radierului pe baza teoriei elasticităţii şi pentru diverse dimensiuni ale acestuia.

Considerând pentru piloţii grupei o lungime elastică echivalentă notată L_e, iar pentru fiecare pilot din grupă o lungime elastică notată generic L_{ei}, între cele două mărimi există inegalitatea:

$$L_{ei} > L_e \qquad (185).$$

Relaţia (185) arată că rigiditatea piloţilor izolaţi este mai mică decât rigiditatea echivalentă proprie asocierii în grup a piloţilor.

Forţa orizontală H aplicată la nivelul radierului determină deplasarea totală orizontală y, iar asupra pilotului „i" deplasarea orizontală $y_{i(H)}$, între cele două mărimi existând valori ale raportului $\frac{y}{y_{i(H)}}$, cuprinse între 2 şi 5 pentru pământurile ce trec de la starea îndesată la cea afânată.

Forţa orizontală H se distribuie piloţilor grupei funcţie de dimensiunile în plan ale radierului şi mult mai puţin de spaţierea acestora.

În acest context, pentru limitarea deplasării grupei se recomandă utilizarea unui număr redus de piloţi, de diametru mare, având distanţa sporită între axele acestora.

Distribuţia momentului încovoietor în lungul fişei pilotului este influenţată puţin de efectul de grup a piloţilor.

Dacă distanţele între axele piloţilor ce alcătuiesc grupa, fig. 199a, respectă inegalităţile: $i_n \geq 4d$ şi $i_p \geq (8-12)d$, atunci comportarea acestora este similară elementelor fişate izolate.

Pe baza celor prezentate la subpunctele a, b, capacitatea portantă a grupei de piloţi se determină cu ajutorul relaţiilor de calcul prezentate în continuare pentru cele două categorii de piloţi.

1.4.2.2.2.3. Capacitatea portantă a grupei de piloţi flotanţi

Exprimată sub forma încărcării critice, respectiv a încărcării verticale ultime, capacitatea portantă a grupei de piloţi flotanţi se va determina pe baza relaţiei de calcul:

$$V_{(f)} = \bar{P}_{cr(f)} = S_{r(f)} \cdot p_{cr}; \qquad (186)$$

în care:

$V_{(f)}$ - încărcarea verticală ultimă a grupei de piloţi flotanţi;

$\bar{P}_{cr(f)}$ - capacitatea portantă a grupei de piloţi flotanţi, exprimată prin încărcarea critică;

$S_{r(f)}$ - suprafaţa de rezemare a fundaţiei convenţionale cu piloţi flotanţi, fig. 1.119, 1.121, a cărei dimensiuni sunt stabilite pe baza relaţiilor de calcul (248); (249);

p_{cr} - presiunea de cedare a pământului ce constituie orizontul de rezemare a piloţilor.

În cazul piloţilor flotanţi dispuşi în grup ce lucrează în prezenţa unor argile, încărcarea critică $\bar{P}_{cr}$ se poate determina

pe baza presiunii de cedare evaluată de teoria Meyerhof [2], astfel:

$$\bar{P}_{cr(f)} = S_{r(f)} \cdot p_{cr.Meyerhof}$$

$$p_{cr.Meyerhof} = \bar{c} \cdot N_c \cdot \lambda; \quad (187)$$

$$\bar{P}_{cr(f)} = S_{r(f)} \cdot \bar{c} \cdot N_c \cdot \lambda; \quad (188)$$

în care:

$\bar{c}$ - valoarea medie a coeziunii pământului;
N_c - coeficient de capacitate portantă;
λ - coeficient de formă.

1.4.2.2.2.4. Capacitatea portantă a grupei de piloţi purtători pe vârf

Relaţia de calcul pentru grupa de piloţi purtători pe vârf este asemănătoare cu cea corespunzătoare grupei de piloţi flotanţi (relaţia 186), respectiv:

$$V_{(v)} = \bar{P}_{cr(v)} = S_{r(v)} \cdot p_{cr}; \quad (189)$$

diferenţierile constând în semnificaţia termenilor componenţi, anume:

$V_{(v)}$ - încărcarea verticală ultimă a grupei de piloţi purtători pe vârf;

$\bar{P}_{cr(v)}$ - încărcarea critică corespunzătoare grupei de piloţi purtători pe vârf;

$S_{r(v)}$ - suprafaţa de rezemare a fundaţiei convenţionale cu piloţi purtători pe vârf, determinată conform 1.4.2.5.2;

p_{cr} - semnificaţia din relaţia 186.

1.4.2.2.2.5. Eficienţa piloţilor lucrând în grup

Dacă se notează capacitatea portantă a grupei de piloţi definită prin încărcarea critică $\bar{P}_{cr}$, iar capacitatea portantă a numărului n de piloţi ce alcătuiesc grupa (consideraţi ca elemente izolate) cu nP_{cr}, atunci coeficientul de eficienţă (de utilizare) a piloţilor se poate exprima sub forma:

$$m_u = \frac{\bar{P}_{cr}}{n \cdot P_{cr}} = \frac{P_{cr\,g}}{P_{cr}} \quad (190)$$

în care:

$\bar{P}_{cr}$ - capacitatea portantă a grupei de piloţi exprimată prin sarcina critică;

n - numărul de piloţi ce alcătuiesc grupa;

P_{cr} - capacitatea portantă a unui pilot izolat, exprimată prin sarcina critică;

$P_{\sigma g} = \frac{\bar{P}_\sigma}{n}$ - încărcarea critică medie a pilotului lucrând în grup.

Coeficientul de eficienţă m_u se poate reda şi ca raport al capacităţilor portante exprimate prin încărcarea admisă în proiectare, obţinută prin afectarea încărcării critice de coeficienţii de omogenitate (k), al condiţiilor de lucru (m) sau de siguranţă (c_s), [2], [19], astfel:

$$m_u = \frac{\frac{P_{\sigma g}}{c_s}}{\frac{P_\sigma}{c_s}} = \frac{R_g}{R} \qquad (191)$$

unde:

R_g - capacitatea portantă medie a unui pilot din cadrul grupei de piloţi;

R - capacitatea portantă a unui pilot izolat.

În cazul pământurilor coezive, relaţia de calcul a coeficientului de utilizare a portanţei pilotului izolat este de forma [3]:

$$m_u = 1 - \operatorname{arctg}\frac{d}{i}\left[\frac{(n-1)m + (m+1)n}{90\min}\right], \qquad (192)$$

în care:

d - diametrul pilotului în [m];

i - distanţa între axele piloţilor, în [m];

m - numărul de piloţi dispuşi pe un şir;

n - numărul de şiruri.

Diverse studii experimentale efectuate pe grupe de piloţi prefabricaţi lucrând în anumite categorii de pământuri, spaţiaţi la (7-8)d, au pus în evidenţă domeniul valorilor coeficientului de eficienţă, după cum urmează [3]:

- valori supraunitare în cazul pământurilor granulare;
- valori subunitare în cazul argilelor.

De asemenea, încercările efectuate pe grupe de piloţi şi piloţi izolaţi lucrând în diferite categorii de pământuri au arătat că, distanţa dintre axele piloţilor influenţează în mod hotărâtor valorile coeficientului de eficienţă a grupei.

Conform [20], valorile coeficientului de utilizare a piloţilor lucrând în grup se stabilesc astfel:

m_u=1, pentru piloţi purtători pe vârf şi fundaţii cu radier îngropat pe piloţi flotanţi;

m_u=1, pentru piloţii de îndesare a căror fişă pătrunde integral în pământuri necoezive;

m_u - valorile din tabelul 1.22 în cazul fundaţiilor cu radier înalt şi piloţi flotanţi.

Valorile coeficientului m_u în cazul fundaţiilor cu radier înalt şi piloţi flotanţi **Tabelul 1.22.**

r/r_0	≥2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8
m_u	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60

Valorile coeficientului m_u din tabelul 1.22 depind de raportul r/r_0, a cărui termeni au semnificaţia următoare:

r - distanţa (lumina) dintre feţele a doi piloţi învecinaţi măsurată în metri;

r_0 - raza de influenţă a pilotului izolat exprimată în metri, măsurată în planul vârfurilor piloţilor şi determinată cu relaţia:

$$r_0 = \Sigma l_i . tg\ \varepsilon_i; \qquad (193)$$

în care:

l_i - grosimea în metri a stratului „i" străbătut de pilot;

ε_i - unghiul sub care se face transmiterea încărcării ce acţionează pilotul, către stratul „i" de grosime „l_i", a cărui mărime se determină funcţie de valoarea de calcul a unghiului de frecare interioară ϕ_i a stratului respectiv, astfel:

$$\varepsilon_i = \frac{\phi_i}{4}; \qquad (194).$$

Dacă tasarea probabilă a fundaţiei pe piloţi este cuprinsă în limite admisibile pentru construcţia respectivă, valorile coeficientului m_u din tabel pot fi majorate până la 1 (m_u=1).

În straturile de teren străbătute de pilotul flotant, pe suprafaţa căruia se consideră rezistenţa negativă, în relaţia 191 se ia ε_i=0.

1.4.2.3. Stabilirea preliminară a numărului de piloţi, dispoziţia în plan şi orientarea acestora

Alcătuirea grupei de piloţi presupune stabilirea numărului, a dispoziţiei în plan şi înclinarea axei piloţilor în raport cu direcţia verticală, toate în dependenţă directă cu mărimea şi tipul încărcărilor ce revin grupei.

Dispunerea judicioasă a numărului de piloţi estimaţi în cadrul grupei asigură încărcarea fiecăruia sub capacitatea lor portantă şi îndeplinirea criteriilor impuse de calculul la stări limită atât pentru grupă cât şi pentru elementele componente, astfel:

$$\Delta_{ef} \leq \Delta_{adm} \quad (195)$$

$$p_{ef} \leq p_{adm} \quad (196)$$

Funcţie de tipul solicitării piloţilor, inegalitatea (196) se poate scrie sub următoarele forme:

$S \leq R_g$ - pentru verificarea piloţilor la compresiune;

$S \leq R_{sm}$ - pentru verificarea piloţilor la smulgere;

$H_{pilot} \leq R_{oriz}$ - pentru verificarea piloţilor la forţe orizontale.

Numărul aproximativ de piloţi ce alcătuiesc grupa se determină astfel:

- **cazul acţiunii centrice a sarcinii verticale asupra radierului**

$$n = \frac{V}{R_g} + (1 \div 2) \text{piloţi} \quad (197)$$

unde:

V - rezultanta sarcinilor verticale;

R_g - capacitatea portantă medie a pilotului lucrând în grup cu spaţierea piloţilor cuprinsă între limita minimă şi maximă.

$R_g = R$, dacă distanţa între axele piloţilor este situată în afara limitei minime şi maxime.

- **cazul acţiunii excentrice a sarcinii preponderent verticale ($H \leq 0,1V$) asupra radierului**

$$n = \beta \cdot \frac{V}{R_g} + (1 \div 2) \text{piloţi} \quad (198)$$

unde:

V; R_g - au semnificaţia din relaţia 198;

β - coeficient funcţie de mărimea excentricităţii forţei verticale, având valori cuprinse între (1,15÷1,30), determinate astfel:

❒ pentru fundaţii acţionate excentric, fig. 1.100.

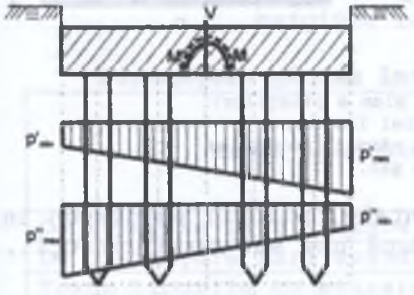


Fig. 1.100. Grupă de piloţi încărcată excentric

$$\beta = 1{,}15\frac{p'_{max} - p'_{min}}{p''_{max} + p''_{min}}, \quad \text{dacă } p''_{max} > p'_{max} \qquad (199)$$

$$\beta = 1{,}1\frac{3p_{max} + p_{min}}{2(p_{max} + p_{min})}, \text{dacă } p'_{max} = p''_{max};\ p'_{min} = p''_{min} \qquad (200);$$

❒ pentru fundaţii inelare sau cilindrice

$$\beta = 1{,}15\frac{2p_{max}}{p_{max} + p_{min}}, \qquad (201)$$

Presiunile efective se determină în ipotezele extreme de încărcare considerând radierul ca o fundaţie directă:

$$p_{ef} = \frac{V}{A} \pm \frac{M}{w}, \qquad (202)$$

Din condiţia de preluare a componentei orizontale numărul de piloţi trebuie să asigure şi îndeplinirea inegalităţii:

$$n > \frac{H}{m \cdot R_{or}}, \qquad (203)$$

în care:

m=0,9 - coeficient al condiţiilor de lucru;

R_{or} - capacitatea portantă a pilotului vertical la forţe orizontale.

După stabilirea numărului de piloţi se trece la dispunerea acestora pe radier în rânduri paralele sau în şah, fig. 1.101b,c.

În cazul fundaţiilor izolate, numărul minim de piloţi este trei, fig. 1.101a.

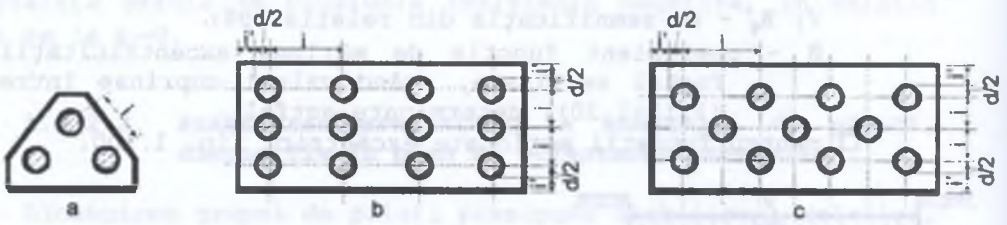


Fig. 1.101. Dispoziţia în plan a piloţilor:
a. cazul fundaţiei izolate;
b. dispunere în rânduri paralele;
c. dispunere în şah.

Funcţie de valoarea forţei orizontale, piloţii se dispun în poziţie verticală şi/sau înclinată după una sau două direcţii, ca în fig. 1.102.

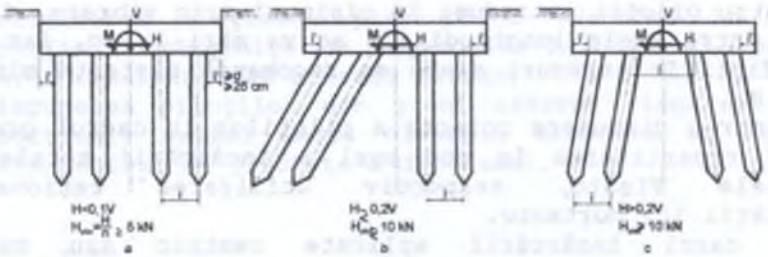


Fig. 1.102. Dispoziţia faţă de verticală a piloţilor:
a. dispoziţie verticală;
b. dispoziţie verticală şi înclinată după o direcţie;
c. dispoziţie înclinată după două direcţii.

Pentru o distribuţie eficientă a încărcării către piloţii dispuşi înclinat, este recomandat ca axa longitudinală a acestora să coincidă cu direcţia rezultantei forţelor exterioare.

Înclinarea piloţilor este impusă însă de tipul şi performanţele utilajelor folosite la realizarea acestora, fiind limitată la valori cuprinse între 1/3÷1/10.

Distanţele minime şi maxime dintre axele longitudinale ale piloţilor precum şi distanţa minimă între faţa pilotului şi marginea radierului au valorile după cum urmează:

- **pentru piloţi verticali**
  - distanţa minimă (i) între axele longitudinale ale piloţilor au valorile din tabelul 1.23, coloana „în planul vârfurilor";
  - distanţa maximă (i) între axele longitudinale este cuprinsă între (8-12)d;
  - distanţa minimă (i') între faţa pilotului şi marginea radierului este cel puţin 1d sau 25cm;

- **pentru piloţi înclinaţi**
  - distanţa minimă (i) între axele longitudinale se ia conform tabelului 1.23, coloana „în planul radierului";
  - distanţa maximă (i) între axele longitudinale este cuprinsă între (8-12)d;
  - distanţa minimă (i') între faţa pilotului şi marginea radierului este cel puţin 1d sau 25cm.

Distanţele minime între axele piloţilor **Tabelul 1.23**

Tipul pilotului	Distanţe minime „i" [m]	
	în planul radierului	în planul vârfurilor
De îndesare fără evazare la bază	1,5d	3d
De distanţare fără evazare la bază	d+1	d+1
Toate tipurile cu evazare la bază	1,5 sau d+1	$1,6d_b$

Pentru piloţii introduşi în nisipuri prin vibrare, distanţa minimă între axele longitudinale se va mări la 4d, iar pentru cei înfipţi în terenuri slabe se recomandă distanţa minimă de (3,5-4)d.

Printr-o dispunere corectă a piloţilor în cadrul grupei se asigură repartizarea în mod egal a încărcării totale către elementele fişate, respectiv utilizarea raţională a capacităţii lor portante.

În cazul încărcării aplicate centric sau cu mică excentricitate se recomandă dispunerea simetrică a piloţilor, asigurându-se astfel coincidenţă între axele de simetrie ale radierului şi axele principale ale secţiunii piloţilor materializate în planul feţei inferioare a radierului.

Dacă încărcarea totală acţionează cu o excentricitate relativ mare, dispunerea simetrică a piloţilor este neraţională din punct de vedere a exploatării capacităţii lor portante.

În acest caz, pentru a asigura o repartizare cât mai uniformă a încărcării către piloţii grupei, cu respectarea unor distanţe optime între axele longitudinale ale piloţilor, se recomandă utilizarea unei metode grafice denumite **„metoda trapezului"**.

Metoda trapezului are la bază repartizarea în mod egal a presiunilor dezvoltate la nivelul de contact radier-teren către şirurile de piloţi, aşa cum reiese din construcţia grafică prezentată în fig. 1.103 şi realizată prin parcurgerea următoarelor etape de lucru:

a. determinarea şi trasarea diagramei presiunilor reactive la nivelul de contact radier-teren în ipoteza distribuţiei plane;
b. determinarea şi fixarea punctului E, obţinut prin prelungirea laturilor neparalele ale diagramei (trapezului) presiunilor reactive;
c. trasarea semicercului având ca diametru latura AE;
d. fixarea piciorului compasului în punctul E şi rabaterea pe semicerc a punctului B în poziţia B_1;
e. construcţia unei drepte paralele cu latura AE şi proiecţia pe aceasta a punctelor A, B_1, obţinând segmentul A_1B_2;
f. divizarea segmentului A_1B_2 într-un număr de părţi egale cu numărul şirurilor de piloţi după direcţia considerată, părţile având aceeaşi mărime: $A_1C_1=C_1D_1=D_1F_1=F_1B_2$;
g. proiecţia pe semicerc a punctelor C_1, D_1, F_1 în C_2, D_2, F_2;
h. fixarea piciorului compasului în punctul E şi rabaterea pe dreapta AE a punctelor C_2, D_2, F_2 în noile poziţii 1, 2, 3;

i. delimitarea diagramei presiunilor reactive în zone (porţiuni) mărginite de segmentele A_1, 12, 23, 3B, a căror rezultante au aceeaşi mărime;
j. dispunerea piloţilor din şirul aferent fiecărei zone (porţiuni) astfel încât direcţia acestora să treacă prin centrul de greutate a diagramei.

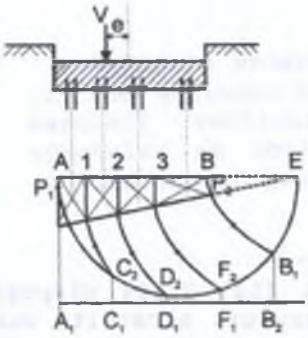


Fig. 1. 103. Reprezentarea grafică a poziţiei şirurilor de piloţi acţionaţi excentric după o singură direcţie.

Dacă din acţiunea încărcărilor rezultă excentricităţi de semne contrare, construcţia grafică se realizează separat pentru valorile extreme ale fiecărei situaţii în parte, urmând ca piloţii să ocupe poziţiile ce corespund ambelor situaţii de încărcare.

Construcţia grafică poate fi aplicată şi în cazul fundaţiilor pe piloţi încărcate excentric după două direcţii.

În cazul în care distanţa dintre piloţi rezultă sub valoarea minimă, piloţii se vor deplasa într-o parte şi în alta până când această condiţie este îndeplinită, situaţie în care piloţii nu sunt solicitaţi identic, ci aproximativ identic.

1.4.2.4. Determinarea încărcării ce revine unui pilot din cadrul grupei de piloţi

După stabilirea numărului de piloţi şi distribuţia acestora în planul radierului, se determină încărcările ce revin fiecărui pilot din cadrul grupei.

În cazul radierelor joase cu rigiditate foarte mare (infinită) pe piloţi verticali solicitaţi la compresiune excentrică după două direcţii, fig. 1.104, componenta verticală $\overline{V}_i$ ce revine unui pilot „i" din acţiunea momentului încovoietor este proporţională cu distanţa de la centrul de greutate a pilotului la centrul de greutate a grupei, iar componenta verticală $\overline{V}_i'$ datorată rezultantei verticale V este proporţională cu numărul de piloţi din cadrul grupei.

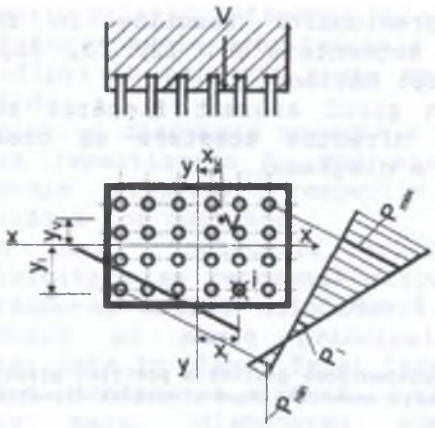


Fig. 1.104. Grupă de piloţi dispuşi simetric după axele x,y, încărcată excentric după ambele direcţii.

Astfel, în cazul unei grupe de piloţi fig. 1.104 dispuşi simetric faţă de axele pricipale ale radierului, alcătuită din „s" şiruri după direcţia „x" şi „p" şiruri după direcţia „y", încărcările verticale ce revin piloţilor din acţiunea momentului încovoietor M_y sunt proporţionale cu distanţele de la centrele de greutate ale piloţilor la centrul de greutate a grupei:

$$\frac{p\cdot\overline{V}_1}{x_1}=\frac{p\cdot\overline{V}_2}{x_2}=\frac{p\cdot\overline{V}_3}{x_3}=\ldots=\frac{p\cdot\overline{V}_i}{x_i}=\ldots=\frac{p\cdot\overline{V}_n}{x_n}, \qquad (204)$$

de unde:

$$\overline{V}_1=\frac{\overline{V}_i}{x_i}x_1;\ \overline{V}_2=\frac{\overline{V}_i}{x_i}x_2;\ldots\overline{V}_n=\frac{\overline{V}_i}{x_i}x_n;\ , \qquad (205)$$

Între acţiunea momentului încovoietor M_y şi încărcările verticale $\overline{V}_1$, $\overline{V}_2$, $\overline{V}_3$, $\overline{V}_i,\ldots\overline{V}_n$ determinate de acesta în piloţii grupei, există relaţia de legătură:

$$M_y=p\left(\overline{V}_1x_1+\overline{V}_2x_2+\overline{V}_3x_3+\ldots+\overline{V}_ix_i+\ldots+\overline{V}_nx_n\right), \qquad (206)$$

Ţinând cont de expresia (205), relaţia (206) devine de forma:

$$M_y=\left(\frac{p\cdot\overline{V}_i}{x_i}x_1^2+\frac{p\cdot\overline{V}_i}{x_i}x_2^2+\ldots+\frac{p\cdot\overline{V}_i}{x_i}x_i^2+\ldots+\frac{p\cdot\overline{V}_i}{x_i}x_n^2\right)=\frac{p\cdot\overline{V}_i}{x_i}\sum_1^n x_i^2\ , \qquad (207)$$

de unde rezultă încărcarea verticală $\overline{V}_i$ ce revine unui pilot „i" din cadrul grupei din acţiunea momentului încovoietor M_y:

$$\overline{V}_i=\frac{M_y\cdot x_i}{p\cdot\sum_{j=1}^{n}x_j^2}, \qquad (208)$$

Încărcarea verticală totală V se distribuie piloţilor grupei (dispuşi simetric şi uniform) în mod egal, astfel încât unui pilot din cadrul grupei îi revine componenta verticală $\overline{V}_i$*, a cărei mărime este egală cu:

$$\overline{V}_i = \frac{V}{p \cdot s}, \qquad (209)$$

Având în vedere componentele verticale ce revin unui pilot „i" din acţiunea momentului încovoietor „M" (relaţia 208) şi a sarcinii verticale „V", (relaţia 210), prin cumularea efectelor se obţine încărcarea verticală aferentă pilotului „i" din cadrul grupei:

$$V_i = \overline{V}_i^{\bullet} + \overline{V}_i = \frac{V}{p \cdot s} + \frac{M_y \cdot x_i}{p \sum_{j=1}^{n} x_j^2}, \qquad (210)$$

Dacă încărcarea verticală se transmite radierului cu dublă excentricitate, fig. 1.104, relaţia (210) devine:

$$V_i = \overline{V}_i^{\bullet} + \overline{V}_i = \frac{V}{p \cdot s} + \frac{M_y \cdot x_i}{p \sum_{j=1}^{n} x_j^2} + \frac{M_x \cdot y_i}{p \sum_{j=1}^{n} y_j^2}, \qquad (211)$$

unde:

$M_x = V.y_v$; $M_y = V.x_v$ - momentul încovoietor în raport cu axa x respectiv y;

s, p - numărul şirurilor de piloţi după direcţia x, respectiv y;

x_i, y_i - abscisa respectiv ordonata pilotului „i" faţă de axele principale ale grupei de piloţi.

Dacă dispunerea piloţilor în cadrul grupei este nesimetrică relaţia (212) se poate scrie sub forma:

$$V_i = \frac{V}{n} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum_{j=1}^{n} x_j^2} + \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_{j=1}^{n} y_j^2}, \qquad (212)$$

în care:

n - numărul piloţilor din cadrul grupei (n=p.s).

La aceeaşi relaţie de calcul se ajunge utilizând metoda aproximativă recomandată de [20] şi urmărind notaţiile din fig. 1.105.

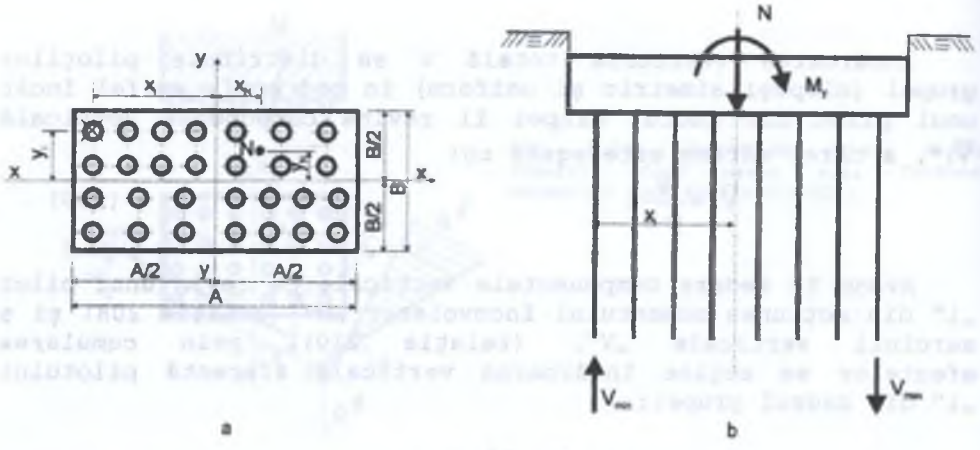


Fig. 1.105. Grupa de piloţi dispuşi nesimetric solicitaţi la compresiune excentrică după două direcţii
a - vedere plan;
b - secţiune.

Se consideră forţa ce revine unui pilot „i" din cadrul grupei exprimată sub forma:

$$V_i=\sigma_i A_{pi}, \tag{213}$$

iar efortul unitar aferent σ_i pentru cazul solicitării de compresiune excentrică având expresia:

$$\sigma_i=\frac{N}{n\cdot A_{pi}}\pm\frac{M_x}{W_x}\pm\frac{M_y}{W_y}=\frac{N}{n\cdot A_{pi}}\pm\frac{M_x\cdot y_i}{I_x}\pm\frac{M_y\cdot x_i}{I_y}, \tag{214}$$

unde:

x_i, y_i - abscisa respectiv ordonata pilotului „i" faţă de axele principale ale grupei;

N - rezultata încărcărilor verticale la nivelul radierului;

n - numărul piloţilor ce formează grupa;

A_{pi} - aria secţiunii transversale a pilotului „i";

$M_x=N.y_N$; $M_y=N.x_N$ - momentele încovoietoare în raport cu axele x, respectiv y;

W_x, W_y - modulele de rezistenţă în raport cu axele x, respectiv y;

I_x, I_y - momentele de inerţie în raport cu axele x, respectiv y exprimate sub forma:

$$I_x=n\cdot I_{x0}+A\sum_{j=1}^{n}y_j^2, \tag{215}$$

$$I_y=n\cdot I_{y0}+A\sum_{j=1}^{n}x_j^2, \tag{216}$$

x_j, y_j - coordonatele pilotului „j" față de axele principale ale grupei.

Neglijând termenii nI_{x0}, nI_{y0} datorită valorii reduse a momentelor de inerție proprii ca urmare a dimensiunilor secțiunii transversale a pilotului (diametrul sau laturile secțiunii); relația (214) devine:

$$\sigma_i = \frac{N}{n \cdot A_{pi}} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{A_{pi} \cdot \sum_{j=1}^{n} y_j^2} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{A_{pi} \sum_{j=1}^{n} x_j^2}, \qquad (217)$$

Introducând expresia efortului unitar σ_i în relația (213) aceasta devine:

$$V_i = \frac{N}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_{j=1}^{n} y_j^2} \pm \frac{M_y \cdot y_i}{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}, \qquad (218)$$

Dacă se ia în considerare și greutatea proprie a pilotului, atunci încărcarea ce revine unui pilot „i" din cadrul grupei va avea forma:

$$V_i = \frac{N}{n} + G_{pi} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_{j=1}^{n} y_j^2} \pm \frac{M_y \cdot y_i}{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}, \ [kN] \qquad (219)$$

în care:

G_{pi} - greutatea proprie a pilotului „i" având în vedere variabilitatea geometriei, a greutății specifice a materialului constituent și a efectului de submersare al apei subterane.

Restricțiile ce se impun în cazul acestui tip de solicitare, fig. 1.105, se exprimă astfel:

$$V_{max} \leq R_j \qquad (220)$$

$$|V_{min}| \leq R_{sm} \qquad (221)$$

În cazul fundațiilor cu radiere joase solicitate și la forțe orizontale este obligatorie verificarea condiției de preluare a acestei încărcări de către piloții verticali din grup: $H \leq m.n.R_{or}$ (222), în caz contrar se prevăd piloți înclinați.

Determinarea încărcărilor ce revin unui pilot înclinat din cadrul grupei, fig. 1.106 se face astfel:

- componenta verticală V_i se determină cu relațiile (218), (219);
- componenta orizontală se determină cu relația:

$$H_i = V_i tg\delta, \qquad (223)$$

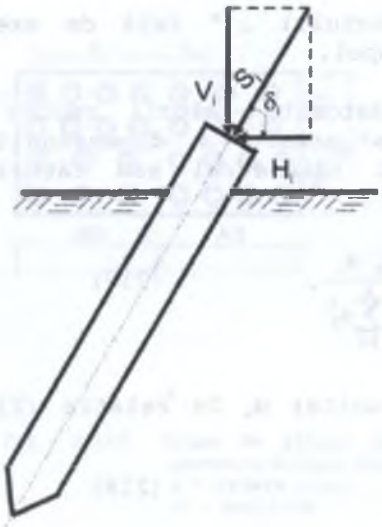


Fig. 1.106. Componentele forţelor verticale şi orizontale în cazul unui pilot „i" dispus înclinat

Restricţiile ce se impun în această situaţie se exprimă sub forma:

$$S_i = \sqrt{V_i^2 + H_i^2} = V_i \cdot \sqrt{1 + tg^2\delta_i} \le R_g, \qquad (224)$$

$$\left|S_i^{min}\right| \le R_{smulgere}, \qquad (225)$$

$$\frac{H_t}{\sum H_{in} + n_v \cdot R_{or}} \le m, \qquad (226)$$

în care:

H_t - forţa orizontală totală preluată de piloţii grupei;

ΣH_{in} - suma componentelor orizontale preluate de toţi piloţii înclinaţi;

n_v - numărul piloţilor verticali din cadrul grupei;

R_{or} - capacitatea portantă la forţe orizontale a piloţilor verticali;

m - coeficient al condiţiilor de lucru, m=0,9.

Pentru o evaluare rapidă a solicitărilor ce revin fiecărui pilot din cadrul grupei se poate utiliza metoda grafică Culmann prezentată în continuare.

Metoda grafică Culmann presupune stabilirea pe cale grafică a solicitării axiale ce revine fiecărui pilot prin descompunerea rezultantei încărcării aferente radierului după direcţiile de aşezare a piloţilor în cadrul grupei.

Metoda grafică Culmann operează pentru situaţiile piloţilor grupei dispuşi vertical şi înclinat după una sau două direcţii.

a. Cazul piloţilor grupei dispuşi în poziţie verticală şi înclinată după o singură direcţie, fig. 1.107, permite descompunerea directă a rezultantei R după direcţia verticală şi înclinată obţinând mărimea şi direcţia celor două componente, S_v aferentă şirurilor de piloţi verticali şi S_i aferentă şirurilor de piloţi înclinaţi.

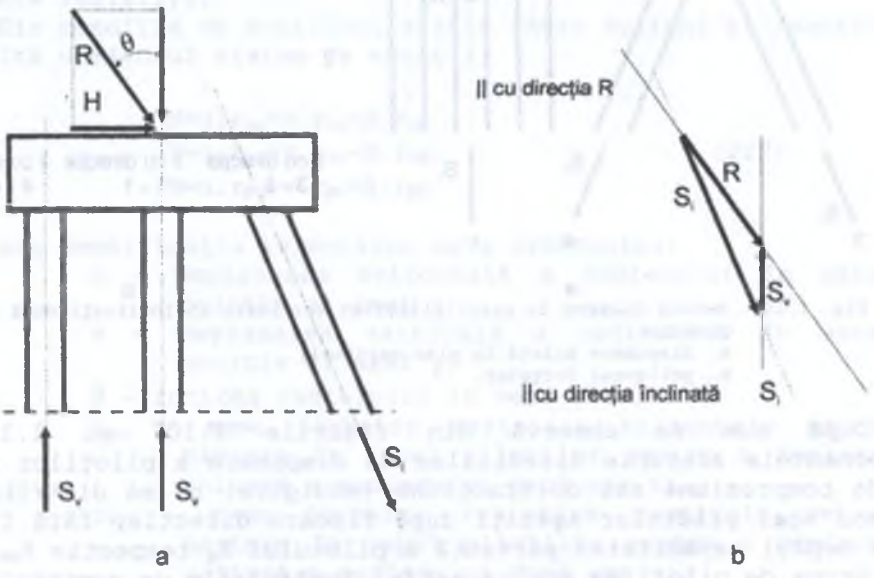


Fig. 1.107. Metoda Culmann în cazul piloţilor verticali şi înclinaţi după o singură direcţie
a. dispunerea piloţilor în plan vertical;
b. poligonul forţelor.

b. Cazul piloţilor grupei dispuşi în poziţie verticală şi înclinată după două direcţii, fig. 1.108, permite determinarea mărimii şi direcţiei componentelor aferente piloţilor verticali şi înclinaţi în două faze de lucru:

- în prima fază, rezultanta R se descompune după direcţia verticală 1-1 şi direcţia 2-2 obţinută prin unirea punctului A (de intersecţie a suportului rezultantei R cu direcţia echivalentă piloţilor verticali 1-1) şi punctul B (de intersecţie a direcţiilor piloţilor înclinaţi), rezultând componenta S_1 aferentă şirurilor de piloţi verticali şi componenta V_{3-4} aferentă şirurilor de piloţi înclinaţi, fig. 1.108b;

- în faza a doua de lucru, componenta S_{3-4} este descompusă după direcţiile 3-3 şi 4-4 aferente piloţilor înclinaţi, rezultând mărimile şi sensul componentelor V_3 şi V_4 corespunzătoare şirurilor de piloţi înclinaţi dispuşi după direcţia 3-3, respectiv 4-4, fig. 1.108b.

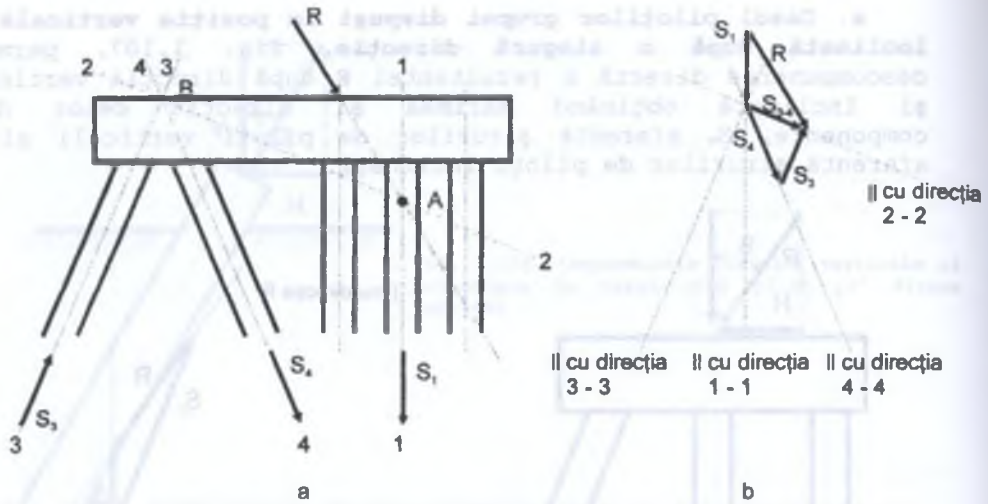


Fig. 1.108. Metoda Culmann în cazul piloților verticali și înclinați după două direcții
a. dispunere piloți în plan vertical;
b. poligonul forțelor.

După cum se observă din figurile 1.107 și 1.108, componentele aferente direcțiilor de dispunere a piloților pot fi de compresiune sau de tracțiune (smulgere) și se distribuie în mod egal piloților așezați după fiecare direcție, fără însă a se depăși capacitatea portantă a pilotului R_g respectiv R_{sm}.

Grupa de piloți va prelua astfel încărcările de compresiune sau smulgere cu respectarea criteriului de necedare sub acțiunea încărcărilor orizontale exprimat prin relația (226).

Alte metode mai exacte de calcul ale eforturilor și deformațiilor grupei de piloți cu radiere joase sau înalte, rigide sau flexibile având în componență piloți verticali și/sau înclinați se bazează pe considerentul că ansamblul radier-piloți constituie o structură static nedeterminată ce conlucrează sau nu cu terenul din jur.

Principiile de calcul ale acestor metode se deosebesc prin ipotezele admise privind deformabilitatea terenului și a piloților, comportarea terenului și tipul legăturilor radier-piloți și piloți-teren.

Dacă grupa de piloți admite o tratare plană, atunci ansamblul radier-piloți constituie un cadru plan pentru care piloții constituie stâlpii cadrului iar rigla este formată de radier.

În ipoteza radierului infinit rigid în raport cu piloții grupei, încărcările exterioare vor determina asupra acestuia deformații proprii neglijabile comparativ cu deplasările prin translație și prin rotație.

Considerând astfel ansamblul radier-piloți asimilat printr-un cadru plan supus acțiunii forțelor orizontale (H), verticale (V) și a momentului încovoietor (M) reduse la

nivelul centrului de greutate „0" a feţei inferioare a radierului, fig. 1.109a, se remarcă schimbarea poziţiei radierului cu înregistrarea deplasărilor u, v în sensul axelor de coordonate şi rotirea β în sens orar.

Urmare acestor deplasări şi rotiri ale radierului, în capul piloţilor iau naştere reacţiuni orizontale, verticale şi momente rezistive.

Din condiţia de echilibru static între acţiuni şi reacţiuni rezultă următorul sistem de ecuaţii:

$$\begin{aligned} H &= u.r_{uu} + v.r_{uv} + \beta.r_{u\beta}; \\ V &= u.r_{vu} + v.r_{vv} + \beta.r_{v\beta}; \\ M &= u.r_{\beta u} + v.r_{\beta v} + \beta.r_{\beta\beta}, \end{aligned} \qquad (227)$$

în care semnificaţia termenilor este următoarea:

- u - deplasarea orizontală a radierului în sensul pozitiv al axei x;
- v - deplasarea verticală a radierului în sensul pozitiv al axei y;
- β - rotirea radierului în sens orar;
- r_{uu} - suma forţelor rezistive orizontale ce iau naştere în capul piloţilor pentru o deplasare unitară a radierului după axa x;
- r_{vv} - suma forţelor rezistive verticale ce iau naştere în capul piloţilor pentru o deplasare unitară a radierului după axa y;
- $r_{\beta\beta}$ - suma momentelor rezistive din capul piloţilor pentru o rotire unitară a radierului;
- r_{uv} - suma forţelor rezistive orizontale din capul piloţilor pentru o deplasare unitară a radierului după direcţia y;
- r_{vu} - suma forţelor rezistive verticale din capul piloţilor pentru o deplasare unitară a radierului după direcţia x;
- $r_{u\beta}$ - suma forţelor rezistive orizontale din capul piloţilor pentru o rotire unitară a radierului;
- $r_{v\beta}$ - suma forţelor rezistive verticale din capul piloţilor pentru o rotire unitară a radierului;
- $r_{\beta u}$ - suma momentelor rezistive din capul piloţilor pentru o deplasare unitară a radierului după direcţia x;
- $r_{\beta v}$ - suma momentelor rezistive din capul piloţilor pentru o deplasare unitară a radierului după axa y.

Pentru determinarea reacţiunilor din capul piloţilor ce intervin în sistemul de ecuaţii (227) se iau în considerare următoarele aspecte:

- tipul legăturii pilot-radier;

- combinaţia pilot-teren şi natura legăturii ce se formează între vârful pilotului şi pământul în care acesta pătrunde;
- caracteristicile geometrice ale piloţilor, caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor din care sunt realizaţi piloţi şi ale pământurilor pe care aceştia le străbat;
- dispunerea în plan şi faţă de verticală a piloţilor;
- rigiditatea piloţilor;
- valorile deplasărilor şi rotirilor înregistrate de radier sub efectul acţiunilor exterioare.

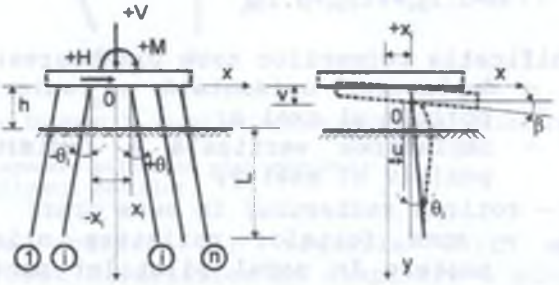


Fig. 1.109. Comportarea sub încărcări a ansamblului plan, radier-piloţi
a - ansamblul plan radier-piloţi încărcat la nivelul centrului de greutate a feţei inferioare a radierului cu forţe orizontale, verticale şi moment încovoietor;
b - deplasările şi rotirea înregistrată de radier.

I. În cazul piloţilor flexibili ce conlucrează cu terenul din jur caracterizat printr-o variaţie liniară a coeficientului reacţiunii laterale, pentru determinarea coeficienţilor (reacţiunilor din capul piloţilor) ce intervin în sistemul (227), trebuiesc parcurse următoarele etape de lucru:

a. determinare solicitărilor din capul piloţilor corespunzătoare unei deplasări unitare după axa pilotului, normal pe aceasta şi unei rotiri unitare;
b. determinarea deplasărilor şi rotirilor din capul piloţilor datorate deplasărilor şi rotirii unitare a radierului;
c. determinarea solicitărilor din capul piloţilor sub efectul cumulat al deplasărilor şi rotirii unitare a radierului;
d. determinarea reacţiunilor din capul piloţilor prin însumarea eforturilor secţionale din piloţii grupei.

a. Determinare solicitărilor din capul piloţilor corespunzător unei deplasări unitare după axa pilotului, normal pe axa pilotului şi unei rotiri unitare

a_1. Deplasarea unitară după axa pilotului $\Delta_a=1$, fig. 1.110 determină efortul axial $\bar{N}$, iar între cele două mărimi şi caracteristicile de deformabilitate pilot-teren există relaţia:

$$\Delta_a = \frac{N(h+L)}{EA} + \eta \frac{N}{A_b} \cdot \frac{1}{k \cdot L}, \qquad (228)$$

iar pentru $\Delta_a=1$, rezultă expresia efortului axial $\bar{N}$ de forma:

$$\bar{N} = \rho_1 = \frac{1}{\frac{h+L}{EA} + \frac{\eta}{k \cdot L \cdot A_b}}, \qquad (229)$$

Semnificaţia termenilor din relaţiile (228), (229) este următoarea:

N, $\bar{N}$ - efortul axial din pilot ca urmare unei deplasări Δ_a după axa pilotului, respectiv a deplasării unitare $\Delta_a=1$;

h - lungimea capătului liber al pilotului, fig. 1.110;

L - fişa pilotului, fig 1.110;

A, A_b - aria secţiunii transversale curente respectiv a bazei pilotului;

E - modulul de deformaţie longitudinală al materialului din pilot;

η - parametru adimensional având valoarea $d_b/5$ (d_b - diametru bazei pilotului, exprimat în metri);

k - coeficient de proporţionalitate al pământului de la baza pilotului.

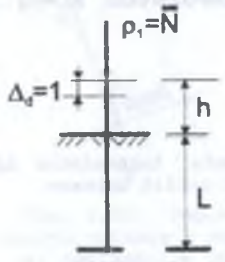


Fig. 1.110. Efortul axial $\bar{N}$ determinat de deplasarea unitară în lungul axei pilotului $\Delta_{a=1}$

a_2. Deplasarea unitară normală pe axa pilotului $\Delta_n=1$, fig. 1.111, determină pe capul acestuia forţa tăietoare $\bar{Q}=\rho_2$ şi momentul încovoietor $\bar{M}=-\rho_3$

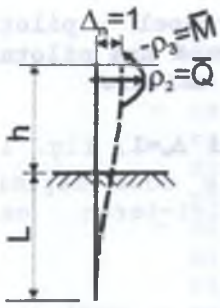


Fig. 1.111. Forţa tăietoare şi momentul încovoietor din capul pilotului corespunzătoare unei deplasări unitare ale acestuia normale pe axa sa.

Având în vedre cazul piloţilor lungi cu comportare elastică şi distribuţie liniară a coeficientului reacţiunii laterale, pentru care $y_s=\Delta_n=1$ şi $\theta_s=0$, între mărimile ρ_2, ρ_3 rezultă relaţiile:

$$\begin{cases}\rho_2\delta_1-\rho_3\delta_3=1;\\ \rho_2\delta_3-\rho_3\delta_2=0,\end{cases} \qquad (230)$$

iar prin rezolvarea sistemului expresiile devin:

$$\rho_2=\frac{\delta_2}{\delta_1\cdot\delta_2-\delta_3^2}, \qquad (231)$$

$$\rho_3=\frac{\delta_3}{\delta_1\cdot\delta_2-\delta_3^2}, \qquad (232)$$

în care:

$\delta_1=\bar{y}_{0H}$ - deplasarea produsă de forţa transversală unitară;

$\delta_2=\bar{y}_{0M}$ - deplasarea produsă de momentul încovoietor unitar;

$\delta_3=\bar{\theta}_{0M}$ - rotirea produsă de momentul încovoietor unitar.

a_3. Rotirea unitară a capului pilotului $\beta=1$, fig. 1.112 determină forţa tăietoare $\bar{Q}=\rho_3$ şi momentul încovoietor $\bar{M}=\rho_4$

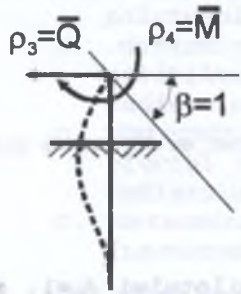


Fig. 1.112 Forţa tăietore şi momentul încovoietor din capul pilotului corespunzătoare unei rotiri unitare

Similar subpunctului a_2, pentru $y_s=0$ şi $\theta_s=1$, rezultă între mărimile ρ_3, ρ_4 relaţiile de legătură de forma:

$$\begin{cases} -\rho_3\delta_1+\rho_4\delta_3=0; \\ -\rho_3\delta_3+\rho_4\delta_2=1, \end{cases} \quad (233)$$

În urma rezolvării sistemului (233) se obţin expresiile forţei tăietoare $\overline{Q}=-\rho_3$ şi ale momentului încovoietor $\overline{M}=\rho_4$, astfel:

$$\rho_3=\frac{\delta_3}{\delta_1\cdot\delta_2-\delta_3^2}, \quad (234)$$

$$\rho_4=\frac{\delta_1}{\delta_1\cdot\delta_2-\delta_3^2}, \quad (235)$$

b. Determinarea deplasărilor şi rotirilor din capul piloţilor datorate deplasărilor şi rotirii unitare a radierului

Deplasările şi rotirea unitară a radierului (u, v, β), fig. 1.109b determină asupra capetelor piloţilor deplasările şi rotirile prezentate în fig. 1.113, astfel:

- deplasarea unitară a radierului după direcţia x, notată „u", determină asupra unui pilot „i" din cadrul grupei o deplasare axială $\Delta'_{ai}=\sin\vartheta_i$ şi o deplasare normală pe axa pilotului $\Delta'_{ni}=\cos\vartheta_i$, fig. 1.113a;
- deplasarea unitară a radierului după direcţia y, notată „v" determină asupra unui pilot „i" din cadrul grupei o deplasare axială $\Delta''_{ai}=\cos\theta_i$ şi o deplasare normală pe axa pilotului $\Delta''_{ni}=\sin\theta_i$, fig. 1.113b;
- rotirea unitară a radierului, notată β, determină asupra unui pilot „i" din cadrul grupei o deplasare axială $\Delta''_{ai}=x_i\cos\theta_i$ şi o deplasare normală pe axa pilotului $\Delta''_{ni}=x_i\sin\theta_i$, fig. 1.113c.

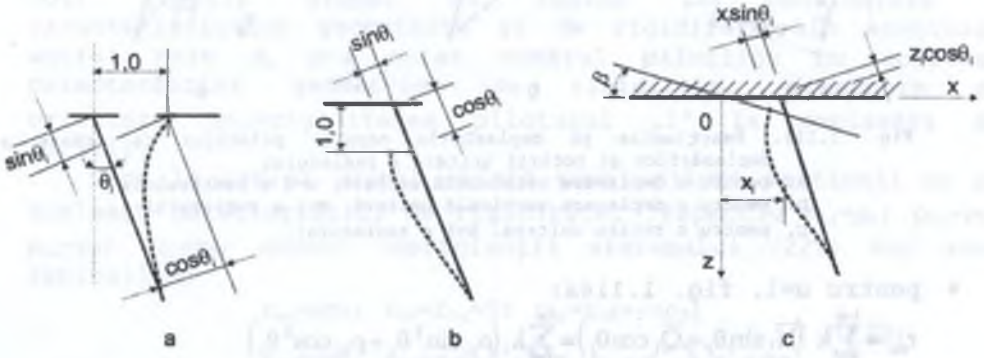


Fig. 1.113. Deplasările şi rotirile capetele piloţilor datorate deplasărilor şi rotirii unitare a radierului

a. deplasările capului pilotului „i" datorate deplasării unitare (u=1) a radierului;
b. deplasările capului pilotului „i" datorate deplasării unitare (v=1) a radierului;
c. deplasările capului pilotului „i" datorate rotirii unitare (β=1) a radierului.

c. Determinarea solicitărilor din capul piloţilor sub efectul cumulat al deplasărilor şi rotirii radierului

Solicitările ce iau naştere în capul unui pilot „i" din cadrul grupei ca urmare a deplasărilor şi rotirii unitare a radierului, se determină prin suprapunerea efectelor, sistematizarea rezultatelor fiind redată în tabelul 1.24.

Solicitările ce revin unui pilot „i" ca urmare a deplasărilor şi rotirii unitare a radierului **Tabelul 1.24**

Efort	Deplasări, rotiri, radier		
	u=1	v=1	β=1
$\bar{N}_i$	$\rho_{1i} \sin \theta_i$	$\rho_{1i} \cos \theta_i$	ρ_{1i} xi.cosθ_i
$\bar{Q}_i$	$\rho_{2i} \cos \theta_i$	$-\rho_{2i} \sin \theta_i$	$-(\rho_{2i}\ x_i \sin \theta_i + \rho_{3i})$
$\bar{M}_i$	$-\rho_{3i} \cos \theta_i$	$\rho_{3i} \sin \theta_i$	$(\rho_{3i}\ x_i \sin \theta_i + \rho_{4i})$

d. Determinarea reacţiunilor din capul piloţilor prin însumarea eforturilor secţionale din piloţii grupei

Reacţiunile din capul piloţilor se determină din ecuaţiile de echilibru static scrise pe sistemele obţinute în urma aplicării deplasărilor şi rotirii unitare a radierului, fig. 1.114.

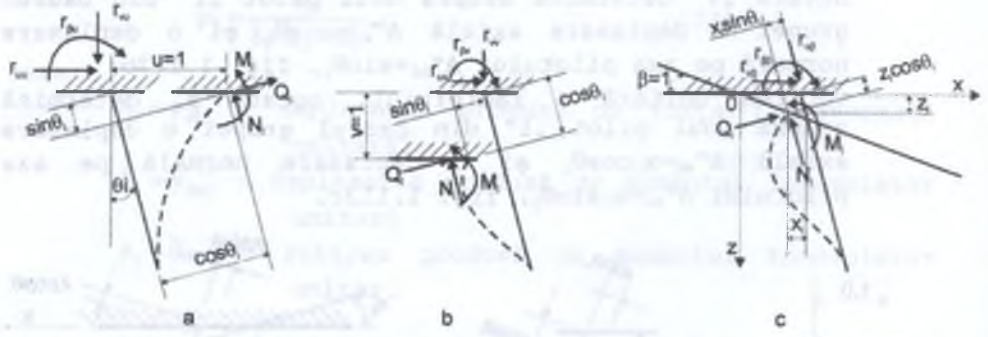


Fig. 1.114. Reacţiunile şi deplasările capului pilotului ca urmare a deplasărilor şi rotirii unitare a radierului
a. pentru o deplasare orizontală unitară, u=1 a radierului;
b. pentru o deplasare verticală unitară, v=1 a radierului;
c. pentru o rotire unitară, β=1 a radierului.

- pentru u=1, fig. 1.114a:

$$r_{uu} = \sum_{i=1}^{i=n} k \left(\bar{N}_i \sin\theta_i + \bar{Q}_i \cos\theta_i\right) = \sum_{i=1}^{n} k_i \left(\rho_{1i} \sin^2\theta_i + \rho_{2i} \cos^2\theta_i\right)$$

$$r_{vu} = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \left(\bar{N}_i \cos\theta_i - \bar{Q}_i \sin\theta_i\right) = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \left(\rho_{1i} - \rho_{2i}\right) \sin\theta_i \cos\theta_i \qquad (236)$$

$$r_{\beta u} = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \left[\left(\bar{N}_i \cos\theta_i - \bar{Q}_i \sin\theta_i\right) x_i + \bar{M}_i\right] = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \left[\left(\rho_{1i} - \rho_{2i}\right) x_i \sin\theta_i \cos\theta_i - \rho_{3i} \cos\theta_i\right]$$

- pentru v=1:

$$r_{uv}=\sum_{i=1}^{n}k_i\left(\overline{N}_i\sin\theta_i+\overline{Q}_i\cos\theta_i\right)=\sum_{i=1}^{n}k_i(\rho_{1i}-\rho_{2i})\sin\theta_i\cos\theta_i$$

$$r_{vv}=\sum_{i=1}^{i=n}k_i\left(\overline{N}_i\cos\theta_i-\overline{Q}_i\sin\theta_i\right)=\sum_{i=1}^{n}k_i\left(\rho_{1i}\cos^2\theta_i+\rho_{2i}\sin^2\theta_i\right) \qquad (237)$$

$$r_{\beta v}=\sum_{i=1}^{i=n}k_i\left(\overline{N}_i\cos\theta_i-\overline{Q}_i\sin\theta_i\right)x_i+\overline{M}_i=\sum_{i=1}^{i=n}K_i\left[\left(\rho_{1i}\cos^2\theta_i+\rho_{2i}\sin^2\theta_i\right)x_i+\rho_{3i}\sin\theta_i\right]$$

- pentru β=1:

$$r_{u\beta}=\sum_{i=1}^{n}k_i\left(\overline{N}_i\sin\theta_i+\overline{Q}_i\cos\theta_i\right)=\sum_{i=1}^{n}k_i\rho_{1i}x_i\cos\theta_i\sin\theta_i-(\rho_{2i}x_i\sin\theta_i+\rho_{3i})\cos\theta_i=$$

$$=\sum_{i=1}^{n}k_i(\rho_{1i}-\rho_{2i})x_i\sin\theta_i\cos\theta_i-\rho_{3i}\cos\theta_i$$

$$r_{v\beta}=\sum_{i=1}^{i=n}k_i\left(\overline{N}_i\cos\theta_i-\overline{Q}_i\sin\theta_i\right)=\sum_{i=1}^{n}k_i\rho_{1i}x_i\cos^2\theta_i+(\rho_{2i}x_i\sin\theta_i+\rho_{3i})\sin\theta_i= \qquad (238)$$

$$=\sum_{i=1}^{n}k_i\left(\rho_{1i}\cos^2\theta_i+\rho_{2i}\sin^2\theta_i\right)x_i+\rho_{3i}\sin\theta_i$$

$$r_{\beta\beta}=\sum_{i=1}^{i=n}k_i\left(\overline{N}_i\cos\theta_i-\overline{Q}_i\sin\theta_i\right)x_i+\overline{M}_i=\sum_{i=1}^{i=n}k_i\left\{\rho_{1i}x_i\cos\theta_i^2+(\rho_{2i}x_i\sin\theta_i+\rho 3i)\sin\theta_i\right\}x_i+$$

$$+(\rho_{3i}x_i\sin\theta_i+\rho_{4i})\Big\}=\sum_{i=1}^{i=n}k_i\left[\left(\rho_{1i}\cos^2\theta_i+\rho_{2i}\sin^2\theta_i\right)x_i^2+2\rho_{3i}x_i\sin\theta_i+\rho_{4i}\right]$$

În relaţiile (236), (237), (238) însumarea s-a făcut pentru toţi piloţii grupei cu luarea în considerare a caracteristicilor geometrice şi de rigiditate ale acestora, astfel prin k_i s-a notat numărul piloţilor cu aceleaşi caracteristici geometrice de rigiditate, dispunere şi orientare (ρ_{ji}=rigiditatea pilotului „i" la deplasări şi rotiri).

Dacă în cadrul grupei există numai piloţi verticali ce au aceleaşi caracteristici de rigiditate, respectiv $\rho_{1i}=\rho_1$; $\rho_{2i}=\rho_2$; $\rho_{3i}=\rho_3$; $\rho_{4i}=\rho_4$; atunci coeficienţii sistemului (228) vor avea expresiile:

$$r_{uu}=n\rho_2;\ r_{uv}=r_{vu}=0;\ r_{\beta u}=r_{u\beta}=-n\rho_3;$$
$$r_{vv}=n\rho_1;\ r_{\beta v}=r_{u\beta}=\rho_1\cdot\sum_{1}^{n}x_i;r_{\beta\beta}=\rho_1\cdot\sum_{1}^{n}x_i^2+n\rho_4 \qquad (239)$$

Având stabiliţi prin calcul coeficienţii ce intervin în sistemul (237), prin intermediul relaţiilor (236), (237), (238) sau (239) se determină valorile necunoscutelor u, v, β, iar corespunzător acestora solicitările ce revin fiecărui pilot din cadrul grupei, plecând de la expresiile

corespunzătoare deplasărilor şi rotirii unitare a radierului (redate în tabel 1.24), astfel:

$$\begin{aligned} N_i &= \rho_{1i}[u\sin\theta_i + (v+\beta x_i)\cos\theta_i]; \\ Q_i &= \rho_{2i}[u\cos\theta_i - (v+\beta x_i)\sin\theta_i] - \beta\rho_{3i} \\ M_i &= \rho_{3i}[-u\cos\theta_i + (v+x_i\beta)\sin\theta_i] + \beta\rho_{4i} \end{aligned} \qquad (240)$$

II În cazul radierului infinit rigid cu piloţi flexibili şi neglijarea conlucrării dintre pilot şi teren, fig. 1.115, pentru determinarea solicitărilor ce revin fiecărui pilot din cadrul grupei se parcurg aceleaşi etape de lucru ca şi în cazul I, deosebirea constând doar în expresia rigidităţilor piloţilor la deplasări şi rotire unitară a radierului.

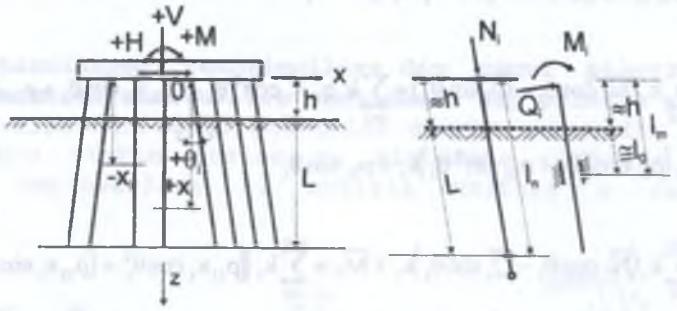


Fig. 1.115. Grupa de piloţi cu radier infinit rigid şi cu neglijarea conlucrării piloţi-teren
a. ansamblul plan radier-piloţi încărcat la nivelul centrului de greutate a feţei inferioare a radierului cu forţe orizontale, verticale şi moment încovoietor;
b. schematizarea legăturii pilot-teren pentru H, V, M.

Expresia rigidităţilor piloţilor la deplasări şi rotiri unitare vor avea forma:

$$\rho_{1i} = \frac{E_i \cdot A_i}{l_{ni}}; \qquad \rho_{2i} = \frac{12E_i \cdot I_i}{l_{ni}^3}; \qquad \rho_{3i} = \frac{6E_i \cdot I_i}{l_{ni}^2}; \qquad \rho_{4i} = \frac{4E_i \cdot I_i}{l_{ni}}; \qquad (241)$$

Semnificaţia termenilor din relaţiile de mai sus este următoarea:

ρ_{1i} - forţa axială corespunzătoare unei deplasări unitare după axa pilotului;

ρ_{2i} - forţa transversală pilotului corespunzătoare unei deplasări unitare normale pe axa pilotului;

ρ_{3i} - momentul sau forţa din capul pilotului corespunzător unei deplasări unitare normale pe axa pilotului respectiv rotirii unitare a secţiunii;

ρ_{4i} - momentul din capul pilotului corespunzător unei rotiri unitare;

E_i - modulul de elasticitate longitudinal al materialului din care este realizat pilotul „i";

A_i - aria secţiunii transversale a pilotului „i";

l_{ni} - lungimea totală a pilotului „i";

l_{mi} - lungimea medie a pilotului „i" (vezi fig. 1.115b);

I_i - momentul de inerţie a secţiunii transversale a pilotului „i".

1.4.2.5. Calculul tasării pilotului izolat, lucrând în grup şi a grupei de piloţi

Eforturile unitare verticale σ_z ce iau naştere în planul vârfurilor piloţilor sub efectul încărcăturilor preluate, determină deformaţii ale terenului dependente de: tipul pilotului, natura terenului, valoarea încărcării, modul de preluare şi transmitere a încărcărilor, distanţa dintre piloţi, etc.

Relaţiile de calcul a tasării pilotului izolat lucrând în grup şi a grupei de piloţi sunt prezentate în cele ce urmează.

1.4.2.5.1. Calculul tasării pilotului izolat şi lucrând în grup

a. Tasarea pilotului izolat

O modalitate rapidă pentru evaluarea tasării este posibilă prin utilizarea unor grafice întocmite în acest sens şi prezentate în diverse publicaţii de specialitate [2].

Altă modalitate de calcul este furnizată de teoria elasticităţii, considerând terenul ca semispaţiu continuu, omogen, izotrop şi liniar deformabil solicitat de încărcările transferate de pilot.

Astfel, considerând cazul pilotului purtător pe vârf fig. 1.116a, la care încărcarea semispaţiului se face la nivelul vârfului pilotului şi a pilotului flotant pentru care încărcarea transferată de pilot către semispaţiu are o distribuţie constantă fig. 1.116b sau liniară pe verticală fig. 1.116c, pentru determinarea tasării într-un punct „0" considerat, se aplică relaţia:

$$S_p = \frac{P}{LE} \cdot I_s \qquad (242)$$

în care:

P - sarcina aplicată pe pilot;
L - fişa pilotului;
E - modulul de deformaţie al pământului;
I_s - factor de influenţă.

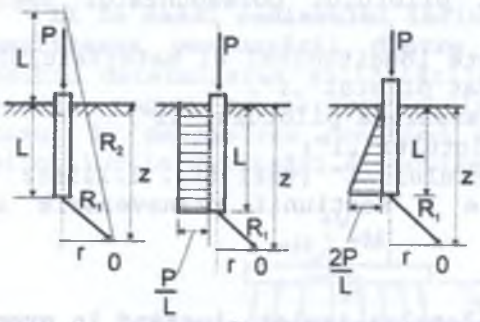


Fig. 1.116. Transferul încărcării de la pilot către semispaţiu
a. pilot purtător pe vârf;
b. pilot flotant - distribuţie constantă a încărcării;
c. pilot flotant - distribuţie liniară a încărcării.

În cazul pilotului flotant ce străbate un strat argilos de grosime finită, limitat ca extindere de un orizont incompresibil, tasarea se determină cu ajutorul relaţiei (242), pentru care modulul de deformaţie liniară a terenului va avea expresia:

$$E = \frac{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}{m_v(1-\upsilon)}, \qquad (243)$$

iar factorul de influenţă I_s se ia conform fig. 1.116, funcţie de mărimile L/d, H/L şi υ.

Termenii din relaţia (243) au valorile:

m_v - valoarea medie pentru strat;
υ=0,4 pentru argile supraconsolidate, normal consolidate şi tari;
υ=0,2 pentru argile moi şi normal consolidate.

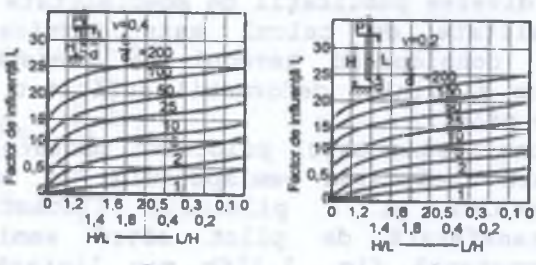


Fig. 1.117. Valorile factorului de influenţă I_s pentru un strat argilos de grosime finită
a. valorile I_s pentru υ=0,4;
b. valorile I_s pentru υ=0,2.

Pentru piloţii flotanţi ce străbat un pachet argilos de grosime finită, limitat de un orizont incompresibil, relaţia (242) se poate scrie şi sub forma:

$$S_p = \frac{P}{LE} \cdot I_s = P \cdot \bar{s}, \qquad (244)$$

în care mărimea: $\bar{s} = \frac{I_s}{LE}$ (245), reprezintă tasarea pilotului sub sarcină unitară (P=1).

Pentru piloţii ce lucrează în pământuri necoezive, tasarea acestora are valori reduse şi se consumă într-un timp scurt.

Dacă pământurile necoezive se află în stare afânată, tasările înregistrate au valori mari, neexistând o relaţie de calcul convenabilă, mărimea tasării fiind apreciată pe baza încercărilor pe piloţi de probă.

Admiţând că tasarea corespunde deplasării verticale a punctului de la baza pilotului, se acceptă estimarea prin calcul a tasării cu ajutorul relaţiei (244).

Unele publicaţii de specialitate [15] recomandă pentru calculul tasării cu luarea în considerare a gradului de îndesare „I_s" a pământurilor necoezive, relaţia:

$$S = \frac{\beta \cdot P}{(1+I_s)^2 \cdot p_{cr}}, \qquad (246)$$

în care:

β - coeficient ce ţine seama de modul de realizare şi punere în operă a pilotului având valorile:
0,04-0,05 pentru piloţi prefabricaţi;
0,18 pentru piloţii executaţi pe loc.

P - încărcarea pe pilot;

I_s - gradul de îndesare al pământului;

p_{cr} - presiunea critică la nivelul bazei pilotului.

b. Tasarea unui pilot din cadrul grupei de piloţi

Dacă piloţii lucrează în grup, pentru calculul tasării unui pilot se are în vedere influenţa dintre aceştia prin intermediul unui factor de interacţiune care depinde de spaţierea piloţilor, astfel:

$$S_{pi} = \bar{s}_i \left(P_i + \sum_{j=1}^{n} P_j \alpha_{ij} \right), \qquad (247)$$

Semnificaţia termenilor din relaţie este după cum urmează:

S_{pi} - tasarea pilotului „i" din cadrul grupei;

$\bar{s}_i$ - are semnificaţia din relaţia (245);

P_i - încărcarea pilotului „i";

P_j - încărcarea preluată de oricare pilot, cu excepţia pilotului „i" ($j \neq i$);

α_{ij} - factor de interacţiune dintre piloţii i şi j, a cărui valori se estimează cu ajutorul graficului din fig. 1.118.

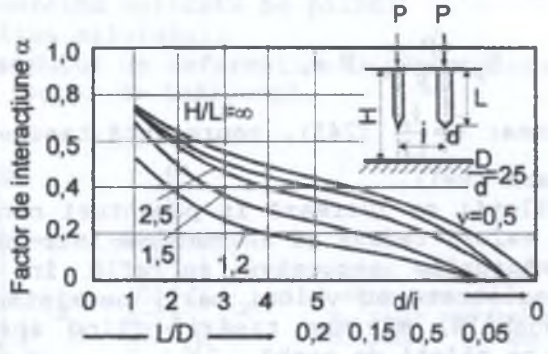


Fig. 1.118. Factorul de interacţiune dintre piloţii situaţi într-un strat compresibil de grosime finită, având υ=0,5.

Interacţiunea dintre piloţi se produce în timp şi poate fi neglijabilă atunci când distanţa până la pilotul considerat se situează peste o anumită valoare.

Dacă piloţii din cadrul grupei au lungimi şi diametre diferite, rapoartele H/L şi i/d utilizate în graficele din fig. 1.118, se vor lua cu valorile ce conduc la rezultate acoperitoare pentru tasare.

O modalitate mai rapidă şi facilă pentru estimarea tasării unui pilot din cadrul grupei se bazează pe utilizarea unor grafice existente în diverse publicaţii de profil [2].

1.4.2.5.2. Calculul tasării grupei de piloţi

Grupa de piloţi rezultă în urma dispunerii în plan şi faţă de verticală a numărului de piloţi determinaţi prin calcul.

Piloţii grupei sunt legaţi la partea superioară prin intermediul unui radier din beton armat, rezultând astfel sistemele de fundare pe piloţi.

Pentru stabilirea prin calcul a tasării grupei de piloţi, ansamblul radier-piloţi-pământ este asimilat cu o fundaţie directă denumită „fundaţie echivalentă", având talpa situată la nivelul mediu al vârfurilor piloţilor.

Determinarea suprafeţei tălpii fundaţiei echivalente se face în funcţie de modul de transfer la teren a încărcărilor preluate de pilot.

Astfel, în cazul piloţilor flotanţi dimensiunile tălpii fundaţiei echivalente, fig. 1.119 vor fi:

$$B' = B + 2r_0 = B + 2L\sqrt{d \cdot tg\delta / 2L} = B + 2Ltg\varepsilon, \quad (248)$$

$$A' = A + 2r_0 = A + 2L\sqrt{d \cdot tg\delta / 2L} = A + 2Ltg\varepsilon, \quad (249)$$

în care:

A', B' - lungimea, respectiv lățimea tălpii fundației echivalente;

A, B - lungimea, respectiv lățimea conturului exterior al grupului de piloți, măsurate în planul radierului;

r_0 - raza paraboloidului de rotație ce îmbracă la nivelul vârfului piloților distribuția eforturilor verticale (fig. 1.120);

d - diametrul pilotului;

δ - unghiul sub care se face transmiterea la teren a încărcării aferente grupei, fig. 1.120;

ε - unghiul sub care se face transmiterea la teren a încărcării aferente pilotului, fig. 1.120;

L - lungimea pilotului.

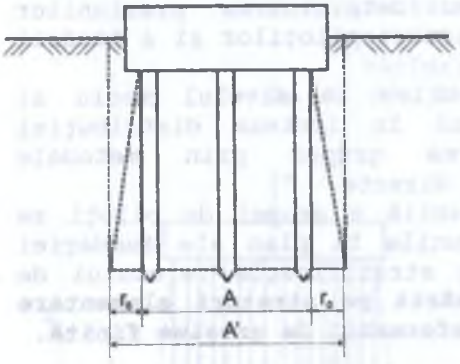


Fig. 1.119. Fundația echivalentă a grupei de piloți-secțiune

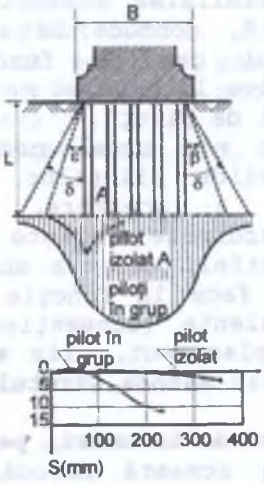


Fig. 1.120. Unghiul de răspândire a încărcării și distribuția eforturilor unitare verticale în planul vârfurilor piloților.

Dacă piloții grupei sunt purtători pe vârf dimensiunile tălpii fundației, echivalente sunt egale cu dimensiunile conturului exterior al grupului de piloților, măsurate în planul radierului (A'=A, B'=B) respectiv în relațiile (248), (249) unghiurile δ și ε sunt egale cu zero.

În cazul grupei cu piloți înclinați fundația convențională are dimensiunea în plan A' și B', egale cu lungimea și lățimea conturului exterior al grupei de piloți, măsurate la nivelul mediu al vârfurilor piloților, fig. 1.121.

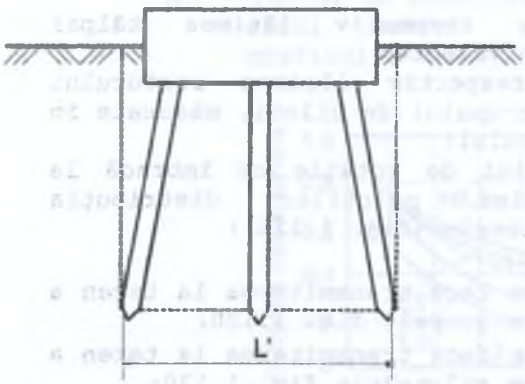


Fig. 1.121. Fundaţia echivalentă în cazul grupei cu piloţi înclinaţi

Asimilarea ansamblului radier-piloţi-teren cu o fundaţie directă, conduce la aplicarea metodelor de calcul specifice acestui gen de fundaţii pentru determinarea presiunilor efective la nivelul mediu al vârfurilor piloţilor şi a tasării grupei de piloţi.

În mod uzual presiunile efective la nivelul mediu al vârfurilor piloţilor se determină în ipoteza distribuţiei plane a acestora, iar tasarea grupei prin metodele standardizate aferente fundaţiilor directe.

Astfel, tasarea absolută probabilă a grupei de piloţi se poate face în funcţie de dimensiunile în plan ale fundaţiei echivalente (convenţionale) şi de stratificaţia terenului de pe amplasament, prin **metoda însumării pe straturi elementare** sau prin **metoda stratului liniar deformabil de grosime finită**.

Metoda însumării pe straturi elementare

În această metodă, pământul de sub nivelul vârfurilor piloţilor se împarte în straturi elementare până la limita inferioară a zonei active definită ca fiind nivelul stratului elementar la care valoarea efortului unitar vertical σ_z datorat încărcării fundaţiei devine mai mic decât 20% din presiunea geologică la adâncimea respectivă, fig. 1.122.

$$\sigma_{zi} < 0{,}2\sigma_{gz} \qquad (250)$$

în care:

σ_{zi} - efortul unitar vertical la nivelul stratului „i", determinat cu relaţia:

$$\sigma_{zi}=\alpha_0 p_{net}\ [kPa], \qquad (251)$$

iar:

α_0 - coeficient de distribuţie a eforturilor verticale (dat în tabelul 1.25), funcţie de rapoartele L/B şi z/B;

p_{net} - presiunea medie netă pe talpa fundaţiei convenţionale, egală cu:

$$p_{net}=p_{ef}-\gamma D_f, \qquad (252)$$

σ_{gz} - efortul unitar vertical datorat greutății straturilor de pământ situate deasupra nivelului respectiv, denumit și sarcina geologică, având expresia:

$$\sigma_{gz}=\Sigma\gamma.h, \qquad (253)$$

unde:

γ - greutatea volumetrică a fiecărui strat geologic situat deasupra nivelului respectiv, măsurată în [kN/m^3];

h - grosimea în metri a fiecărui strat.

În relația 252) semnificația termenilor este următoarea:

$p_{ef}=\frac{N}{A'B'}$ - presiunea efectivă la nivelul mediu al vârfurilor piloților;

γ - greutatea volumetrică medie a pământului situat deasupra nivelului mediu al vârfurilor piloților;

D_f, N, A', B' - au semnificația din fig. 1.122.

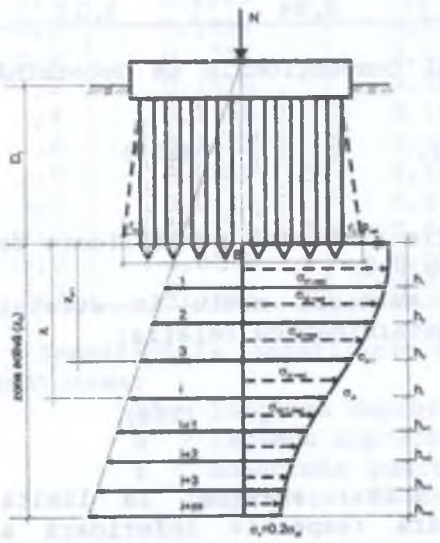


Fig. 1.122. Distribuția eforturilor unitare verticale în axa fundației convenționale pe înălțimea zonei active

Dacă limita inferioară a zonei active este situată în cuprinsul unui strat având modulul de deformație liniară mult mai mic decât a straturilor superioare, sau cu E≤5.000 kPa, adâncimea zonei active notată „z_0" se majorează prin includerea acestui strat, sau până la îndeplinirea condiției:

$$\sigma_z<0,1\sigma_{gz}, \qquad (254)$$

În cazul în care în cuprinsul zonei active există un strat practic incompresibil (E>100.000 kPa) şi există certitudinea că sub acesta până la limita zonei active nu apar orizonturi mai compresibile, adâncimea zonei active se limitează la suprafaţa acestui strat.

Valorile coeficientului α_0 **Tabelul 1.25**

z/B'	A'/B'			
	1	2	3	≥10
	α_0			
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	0,96	0,96	0,98	0,98
0,4	0,80	0,87	0,88	0,88
0,6	0,61	0,73	0,75	0,75
0,8	0,45	0,53	0,63	0,64
1,0	0,34	0,48	0,53	0,55
1,2	0,26	0,39	0,44	0,48
1,4	0,20	0,32	0,38	0,42
1,6	0,16	0,27	0,32	0,37
2,0	0,11	0,19	0,24	0,31
3,0	0,05	0,10	0,13	0,21
4,0	0,03	0,06	0,08	0,16
5,0	0,02	0,04	0,04	0,13

Tasarea probabilă a fundaţiei convenţionale se determină cu ajutorul relaţiei:

$$s = 10^3 \cdot \beta \sum_1^n \frac{\sigma_{zi}^{med} \cdot h_i}{E_i} \quad [mm], \qquad (255)$$

unde:

β - coeficient de corecţie a schemei simplificate de calcul, se ia egal cu 0,8;

σ_{zi}^{med} - efortul unitar vertical mediu în stratul elementar „i" determinat cu relaţia:

$$\sigma_{zi}^{med} = \frac{\sigma_{zi}^{sup} + \sigma_{zi}^{inf}}{2} \quad [kPa], \qquad (256)$$

iar:

σ_{zi}^{sup}, σ_{zi}^{inf} - efortul unitar vertical la limita superioară respectiv inferioară a stratului elementar „i", determinat cu ajutorul relaţiei (251)

h_i - grosimea stratului elementar „i", în metri;

E_i - modulul de deformaţie lineară a stratului elementar „i", în [kPa].

Fiecare strat elementar din cuprinsul zonei active se constituie din pământ omogen, grosimea nedepăşind valoarea 0,4B'.

Pentru calculul tasării suplimentare într-un punct al unei fundaţii datorită încărcărilor transmise de fundaţiile vecine şi a suprasarcinii terenului din jur, eforturile unitare verticale σ_z se determină prin **metoda punctelor de colţ.**

Astfel, la adâncimea z a unui punct situat pe verticala colţului unei suprafeţe dreptunghiulare încărcată cu presiunea netă (p_{net}), efortul unitar vertical σ_z are expresia:

$$\sigma_z=\alpha_c \cdot p_{net} \quad [kN], \qquad (257)$$

în care:

α_c - coeficient de distribuţie a eforturilor unitare verticale la colţul suprafeţei încărcate, a cărui valori sunt date în tabelul 1.26.

Valorile coeficientului α_o **Tabelul 1.26**

z/B	Fundaţii în formă de dreptunghi cu raportul laturilor A'/B'			
	1	2	3	≥10
	α_0			
0,0	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
0,2	0,2486	0,2491	0,2492	0,2492
0,4	0,2401	0,2439	0,2442	0,2443
0,6	0,2229	0,2329	0,2339	0,2342
0,8	0,1999	0,2176	0,2196	0,2202
1,0	0,1752	0,1999	0,2034	0,2046
1,2	0,1516	0,1818	0,1870	0,1888
1,4	0,1308	0,1644	0,1712	0,1740
1,6	0,1123	0,1482	0,1567	0,1604
2,0	0,0840	0,1202	0,1314	0,1374
3,0	0,0447	0,0732	0,0870	0,0987
4,0	0,0270	0,0474	0,0603	0,0758
5,0	0,0179	0,0328	0,0435	0,0610
6,0	0,0127	0,0238	0,0325	0,0506

Semnificaţia notaţiilor din tabelele 1.25 şi 1.26 este următoarea:

A' - lungimea suprafeţei încărcate în metri;

B' - lăţimea suprafeţei încărcate în metri;

z - adâncimea punctului considerat faţă de nivelul suprafeţei de încărcare a fundaţiei, în metri.

Efortul unitar vertical σ_z la nivelul unui punct P situat la adâncimea z sub o fundaţie aflată la o anumită distanţă de o suprafaţă dreptunghiulară ABCD, fig. 1.123, încărcată cu presiunea netă (p_{net}) distribuită uniform, rezultă prin suprapunerea efectelor astfel:

$$\sigma_z=p_{net}(\alpha_{c1}+\alpha_{c2}+\alpha_{c3}+\alpha_{c4}), \quad [kPa], \qquad (258)$$

în care:

α_{c1} - coeficientul de distribuţie a eforturilor unitare verticale pentru dreptunghiul AEPG;

α_{c2} - coeficientul de distribuţie a eforturilor unitare verticale pentru dreptunghiul GPFD;

α_{c3} - coeficientul de distribuţie a eforturilor unitare verticale pentru dreptunghiul BEPH;

α_{c4} - coeficientul de distribuţie a eforturilor unitare verticale pentru dreptunghiul HPFC.

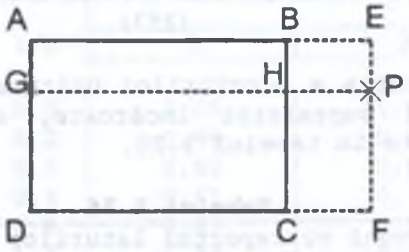


Fig. 1.123. Influenţa suprafeţei încărcate ABCD asupra unui punct P situat sub o fundaţie vecină

Metoda stratului liniar deformabil de grosime finită

Această metodă de calcul a tasării absolute se aplică atunci când în limita zonei active se întâlneşte un strat de pământ practic incompresibil, caracterizat prin $E>10^5$ kPa sau când lăţimea B' ori diametrul D' a fundaţiei au valori peste 10 m [B'(D')]>10m], iar stratul care constituie zona activă se caracterizează prin valori E>10.000 kPa.

În această metodă, relaţia de calcul a tasării absolute a fundaţiei echivalente are expresia:

$$s = 100\, m \cdot p_{net} \cdot B' \sum_{1}^{n} \frac{k_i + k_{i-1}}{E_i}\left(1+\upsilon_i^2\right) \quad [cm, \qquad (259)$$

în care:

m - coeficient de corecţie funcţie de grosimea stratului deformabil z_0, având valorile din tabelul 1.27.

p_{net} - presiunea netă medie [kPa];

B'(D') - lăţimea sau diametrul fundaţiei echivalente [m];

K_i, k_{i-1} - coeficienţi stabiliţi pentru nivelul inferior, respectiv superior al stratului i, având valorile din tabelul 1.28;

E_i - modulul de deformaţie liniară a stratului i [kPa];

υ_i - coeficientul Poisson al stratului i.

Valorile coeficientului m **Tabelul 1.27**

z^0/B	m
0,00...0,25	1,5
0,26...0,50	1,4
0,51...1,00	1,3
1,01...1,50	1,2
1,51...2,50	1,1
>2,50	1,0

Valorile coeficientului k **Tabelul 1.28**

z/B	Fundaţii în formă de cerc	Fundaţii în formă de dreptunghi cu raportul laturilor L/B					
		1	1,5	2	3	5	≥10 (fundaţii continue)
		K					
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,045	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,052
0,2	0,090	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,104
0,3	0,135	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,156
0,4	0,179	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,208
0,5	0,233	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,260
0,6	0,266	0,299	0,300	0,300	0,300	0,300	0,311
0,7	0,308	0,342	0,349	0,349	0,349	0,349	0,362
0,8	0,348	0,381	0,395	0,397	0,397	0,397	0,412
0,9	0,382	0,415	0,437	0,442	0,442	0,442	0,462
1,0	0,411	0,446	0,476	0,484	0,484	0,484	0,511
1,1	0,437	0,474	0,511	0,524	0,525	0,525	0,560
1,2	0,461	0,499	0,543	0,561	0,566	0,566	0,605
1,3	0,482	0,522	0,573	0,595	0,604	0,604	0,648
1,4	0,501	0,542	0,601	0,626	0,640	0,640	0,687
1,5	0,517	0,560	0,625	0,655	0,674	0,674	0,726
1,6	0,532	0,577	0,647	0,682	0,706	0,708	0,763
1,7	0,546	0,592	0,668	0,707	0,736	0,741	0,798
1,8	0,558	0,606	0,688	0,730	0,764	0,772	0,831
1,9	0,569	0,618	0,708	0,752	0,791	0,808	0,862
2,0	0,579	0,630	0,722	0,773	0,816	0,830	0,892
2,1	0,588	0,641	0,737	0,791	0,839	0,853	0,921
2,2	0,596	0,651	0,751	0,809	0,861	0,885	0,949
2,3	0,604	0,660	0,764	0,824	0,888	0,908	0,976
2,4	0,611	0,668	0,776	0,841	0,902	0,932	1,001
2,5	0,618	0,676	0,787	0,855	0,921	0,955	1,025
2,6	0,624	0,683	0,798	0,868	0,939	0,977	1,050
2,7	0,630	0,690	0,808	0,881	0,955	0,998	1,073
2,8	0,635	0,697	0,818	0,893	0,971	1,018	1,095
2,9	0,640	0,703	0,827	0,904	0,986	1,038	1,117
3,0	0,645	0,709	0,836	0,913	1,000	1,057	1,138
3,1	0,649	0,714	0,843	0,924	1,014	1,074	1,158
3,2	0,653	0,719	0,850	0,934	1,027	1,091	1,178
3,3	0,657	0,724	0,857	0,943	1,040	1,107	1,197
3,4	0,661	0,728	0,863	0,951	1,051	1,123	1,215
3,5	0,664	0,732	0,869	0,959	1,062	1,138	1,233
4,0	0,679	0,751	0,897	0,995	1,111	1,205	1,316
4,5	0,691	0,766	0,918	1,022	1,151	1,262	1,390
5,0	0,700	0,777	0,935	1,045	1,183	1,309	1,456

Altă modalitate de evaluare aproximativă a tasării grupei de piloţi, are la bază tasarea pilotului izolat, de la care se ajunge la formule semiempirice de calcul, astfel:

- după Iassin şi Gibson, funcţie de modul de realizare şi punere în operă a piloţilor se aplică formulele de calcul:

$$\frac{S_g}{s} = \left(\frac{4B'+9}{B'+12}\right)^2 \quad (260)$$ - pentru piloţi prefabricaţi introduşi în operă prin batere;

$$\frac{S_g}{s}=\frac{4B'^2}{(B'+1)^2} \quad (261)$$ - pentru piloţi foraţi.

- După Vésic:

$$\frac{S_g}{s}=\sqrt{\frac{B'}{d}} \quad (262)$$

Semnificaţia termenilor din relaţiile de mai sus este următoarea:

S_g - tasarea grupei de piloţi;
s - tasarea pilotului izolat din cadrul grupei;
B' - lăţimea tălpii fundaţiei convenţionale;
d - diametrul pilotului.

Dacă apar sub planul vârfurilor piloţilor orizonturi de pământ de consistenţă redusă, este necesară cunoaşterea eforturilor verticale ce iau naştere (ce încarcă) la nivelul acestor orizonturi.

În acest sens, se consideră că încărcarea aferentă grupei se distribuie în adâncimea stratului portant rezultând astfel un volum de pământ delimitat de plane ce fac cu orizontala unghiuri de 60^0.

Încărcarea aferentă grupei de piloţi determină la nivelul stratului de consistenţă redusă eforturi unitare verticale „σ_z" prin intermediul prismului de pământ delimitat pe înălţimea „H" de planele orientate la 60^0.

Astfel:

- dacă stratul portant este constituit din pământuri argiloase, prismul de pământ de înălţime H este delimitat de planele orizontale situate la 2/3 din lungimea de pătrundere a piloţilor în stratul portant consistent $\left(\frac{2}{3}D\right)$, respectiv la partea superioară a stratului de consistenţă slabă şi de planele înclinate orientate sub unghiuri de 60^0, fig. 1.124.

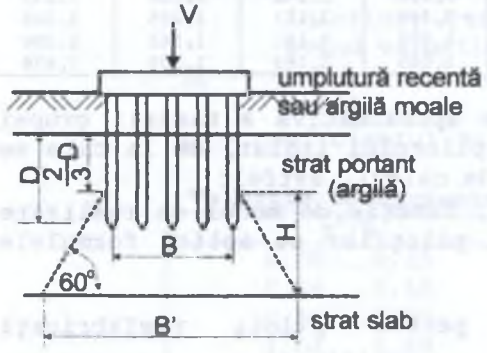


Fig. 1.124. Repartizarea în adâncime a încărcării pentru piloţii grupei cu baza într-un strat de argilă

- dacă stratul portant pe care îl pătrund piloţii grupei este constituit din pământuri necoezive (nisip sau pietriş), prismul de pământ ce asigură repartizarea în adâncime a încărcării este delimitat de planele orizontale situate la nivelul vârfurilor piloţilor, respectiv partea superioară a stratului slab, de consistenţă redusă şi de planele înclinate orientate pe înălţimea H sub unghiuri de 60^0, fig. 1.125.

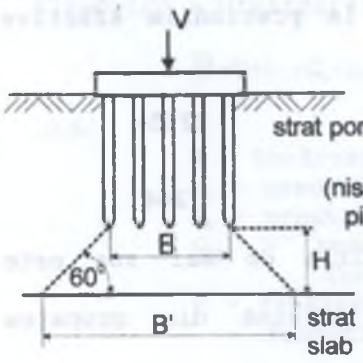


Fig. 1.125. Repartizarea în adâncime a încărcării pentru piloţii grupei cu baza într-un strat necoeziv (nisip sau pietriş)

Urmărind notaţiile din fig. 1.124 şi 1.125 se observă că dimensiunile bazei prismului de pământ de înălţime H, ce încarcă stratul de pământ de consistenţă slabă au expresiile:

$$A'=A+2Htg30^0=A+1,15H \quad (263)$$

$$B'=B+2Htg30^0=B+1,15H \quad (264)$$

Dacă pe acelaşi amplasament există grupe de piloţi care au lungimi diferite de la o grupă la alta, spaţierea grupelor şi extinderea lor în adâncime va urmării ca piloţii scurţi ai unei grupe să nu influenţeze piloţii lungi ai grupei vecine, fiind recomandată în acest sens respectarea inegalităţii: $\Delta L>\Delta H$, fig. 1.126.

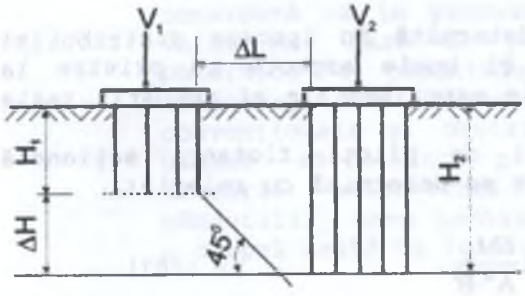


Fig. 1.126. Spaţierea grupelor de piloţi când aceştia au lungimi diferite de la o grupă la alta.

1.4.2.6. Verificarea piloților grupei și a grupei de piloți la starea limită de capacitate portantă (SLCP) și de deformație (SLD)

Numărul de piloți și distribuția acestora în cadrul grupei sunt stabilite și confirmate în urma verificării criteriilor impuse de calculul terenului la stările limită ultime de capacitate portantă (SLCP) și de deformație (SLCP).

Relațiile de condiție impuse în acest sens pentru piloții grupei și grupa de piloți se referă la presiunile efective maxime și tasarea terenului, astfel:

$$\left.\begin{array}{l} p_{ef.max} \le \alpha \cdot p_{pl} \\ \Delta < \bar{\Delta} \end{array}\right\} \text{ - pentru SLD} \qquad (265)$$

$$p'_{ef} < m_c \cdot p_{cr} \text{ - pentru SLCP} \qquad (266)$$

Semnificația termenilor din relațiile de mai sus este următoarea:

$p_{ef.max}$ - presiunea efectivă maximă din gruparea fundamentală;

α - coeficientul condițiilor de lucru;

p_{pl} - presiunea limită corespunzătoare unei extinderi limitate a zonei plastice a terenului de fundare;

Δ - deplasări sau deformații posibile ale construcției datorate deplasărilor sau deformațiilor terenului de fundare determinate cu încărcări din gruparea fundamentală;

$\bar{\Delta}$ - deplasări sau deformații admise pentru construcție stabilite de proiectant sau prin prescripții tehnice [22];

p'_{ef} - presiunea efectivă pe teren pentru încărcări din gruparea specială;

m_c - coeficientul condițiilor de lucru egal cu 0,9;

p_{cr} - presiunea critică a terenului [kPa].

Presiunile efective se determină în ipoteza distribuției plane luând în considerare și unele aspecte cu privire la rezultatele obținute pe modele experimentale și fundații reale pe piloți.

Astfel, în cazul grupei de piloți flotanți acționată excentric, presiunile efective se determină cu relația:

$$p_{ef} = \frac{\bar{V}}{A' \cdot B'} \pm \frac{6M_{A'}}{A' \cdot B'^2} \pm \frac{6M_{B'}}{A'^2 \cdot B'}, \qquad (267)$$

în care:

$\overline{V}$ - încărcarea verticală rezultantă la nivelul planului vârfurilor piloţilor flotanţi;

A', B' - dimensiunile în plan ale fundaţiei convenţionale;

$M_{A'}$, $M_{B'}$ - momentele încovoietoare în raport cu centrul de greutate a suprafeţei de rezemare, după direcţiile A', respectiv B'.

Încărcarea verticală rezultantă $\overline{V}$ reprezintă suma algebrică a următoarelor componente:

$$\overline{V}=V+G_r+G_p+G_{pp}-F \qquad (268)$$

unde:

V - încărcarea verticală la nivelul radierului;

G_r - greutatea radierului;

G_p - greutatea proprie a piloţilor grupei;

G_{pp} - greutatea pământului cuprins în limitele fundaţiei convenţionale;

F - frecarea ce se manifestă pe suprafaţa laterală a fundaţiei convenţionale determinată cu relaţia:

$$F=U\Sigma f_i l_i \qquad (269)$$

În care:

U - perimetrul fundaţiei convenţionale;

f_i - frecarea unitară manifestată la nivelul stratului „i";

l_i - grosimea stratului „i" aflat în contact cu fundaţia convenţională.

Dimensiunile în plan ale fundaţiei convenţionale rezultă în funcţie de spaţierea piloţilor flotanţi, fig. 1.127, astfel:

- pentru piloţi larg spaţiaţi dimensiunile fundaţiei convenţionale se limitează la dimensiunile în plan ale radierului;
- pentru piloţi cu dispunere deasă în cadrul grupei se consideră că în procesul de rupere este antrenat un volum mai mare de pământ ca urmare a îndesării puternice a pământului dintre piloţi şi lateral acestora, iar dimensiunile în plan ale fundaţiei convenţionale şi distribuţia presiunilor efective în planul vârfurilor piloţilor depinde de mărimea frecării pilot-teren şi frecarea interioară a pământului, care pentru încărcarea centrică verticală a grupei arată ca în fig. 1.127a.

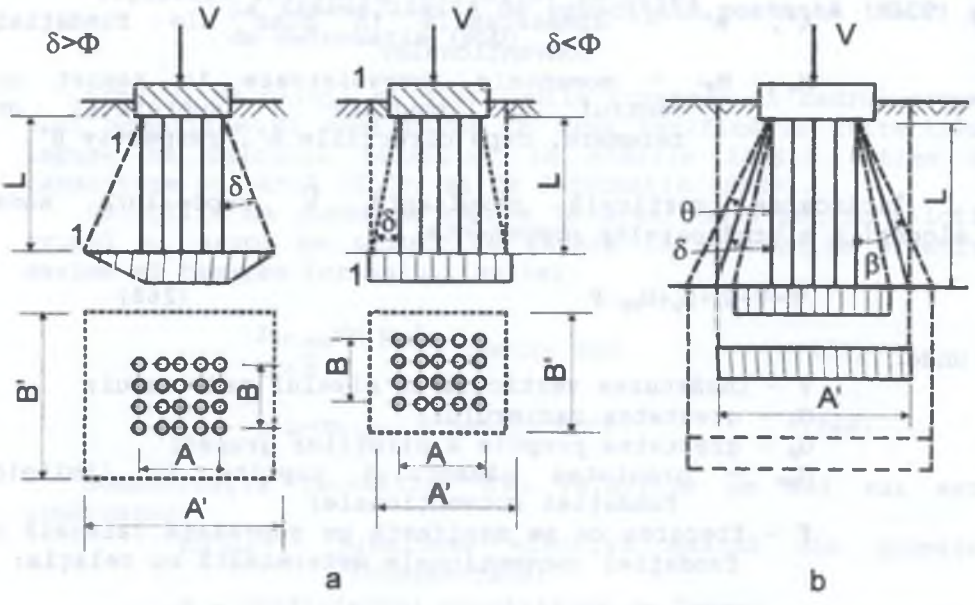


Fig. 1.127. Distribuţia presiunilor în planul vârfurilor piloţilor flotanţi
a. cazul piloţilor verticali;
b. cazul piloţilor verticali şi înclinaţi.

În cazul grupei de piloţi verticali încărcată cu sarcini verticale ce acţionează centric, fig. 1.127a, dimensiunile în plan ale fundaţiei convenţionale (A', B') sunt delimitate de extinderea zonei conice sub care se face transferal la teren a încărcărilor, iar relaţia (268) devine:

- pentru $\delta>\varphi$: $$p_{ef}=\frac{\overline{V}}{A\cdot B+0{,}5(A'-A)(B'-B)}, \qquad (270)$$

- pentru $\delta<\varphi$: $$p_{ef}=\frac{\overline{V}}{A'\cdot B'}, \qquad (271).$$

Dacă grupa de piloţi acţionată centric prezintă atât piloţi verticali cât şi înclinaţi, fig. 1.127b, conturul fundaţiei convenţionale este limitat la cel al vârfurilor piloţilor înclinaţi, fig. 1.127b, iar pentru calculul presiunilor efective se procedează în mod asemănător.

Pentru determinarea tasării absolute probabile, a tasării relative, a înclinării şi încovoierii probabile a grupei de piloţi se aplică procedeele şi metodele de calcul de la fundaţiile directe [22].

1.4.2.7. Alcătuirea şi calculul radierului ce leagă şi solidarizează capetele piloţilor

1.4.2.7.1. Definiţie. Rol. Clasificare

Radierul ca parte componentă a fundaţiei pe piloţi, îndeplineşte în general următoarele funcţii:

- solidarizarea capetelor piloţilor asigurând astfel lucrul acestora în grup;
- preluarea încărcărilor transmise de suprastructură şi repartizarea acestora către piloţii grupei şi de aici terenului de fundare;
- constituie partea de suprastructură în cazul cheiurilor şi estacadelor portuare.

Alcătuirea constructivă a radierelor sub diverse aspecte conduce la clasificarea acestora pe baza următoarelor criterii:

- după poziţia în raport cu terenul din jur:
  - radiere joase,
  - radiere înalte;
- după comportarea sub încărcări:
  - radiere rigide;
  - radiere flexibile;
- după materialele componente:
  - radiere din lemn;
  - radiere din metal;
  - radiere din beton simplu;
  - radiere din beton armat;
- după extinderea în plan în raport cu construcţia, elementele structurale şi dispunerea piloţilor:
  - radiere izolate;
  - radiere liniare;
  - radiere generale;
- după forma în plan:
  - radiere de formă pătrată;
  - radiere de formă dreptunghiulară;
  - radiere de formă circulară;
  - radiere de formă triunghiulară;
  - radiere de formă hexagonală;
  - radiere de formă octaedrală, etc.

1.4.2.7.2. Prescripţii constructive de alcătuire a radierelor

Radierele din lemn sunt recomandate în cazul piloţilor realizaţi din acelaşi material sub formă de lemn rotund sau ecarisat.

Pentru sporirea duratei de viaţă a acestor tipuri de fundaţii este recomandat ca piloţii şi radierul să lucreze sub nivelul apei.

Radierele din lemn sunt alcătuite din grinzi longitudinale (2) şi transversale (1) care leagă capetele piloţilor (4) după cele două direcţii prin îmbinări tip cep sau cleşte (5), iar la partea superioară a grinzilor se aşează dulapi (3) de grosime (6-10)cm, fig. 1.128.

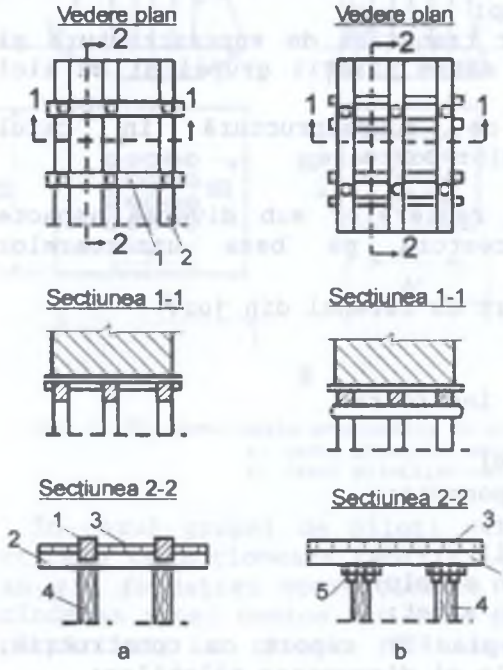


Fig. 1.128. Radiere şi piloţi din lemn
a. cu grinzi longitudinale şi transversale;
b. cu grinzi longitudinale şi cleşti de solidarizare între piloţi.

În cazul radierelor joase, spaţiul dintre grinzi se umple cu piatră spartă.

Dacă radierul ce leagă capetele piloţilor din lemn se realizează din beton, se recomandă ca:

- grosimea minimă a radierului să fie 30 cm;
- grosimea radierului să asigure o betonare a capului pilotului de cel puţin 1,5d (d-diametrul pilotului) pentru solicitarea de compresiune şi cel puţin 2d pentru solicitarea de smulgere, în cel de-al doilea caz capul pilotului se prelucrează sub formă tronconică iar în jurul capului se prevede o armătură suplimentară sub formă de spirală ca în fig. 1.9;
- cota radierului se alege astfel încât să asigure lucrul sub apă pentru toţi piloţii grupei;
- clasa minimă a betonului utilizat, Bc10.

Radierele metalice sunt utilizate în general în cazul piloţilor şi suprastructurilor din metal şi numai acolo unde

sunt asigurate condiţii de protecţie împotriva coroziunii atmosferice sau a apelor agresive.

Elementele componente principale ale radierelor metalice sunt formate din grinzi metalice dispuse după cele două direcţii, iar legătura dintre acestea şi capetele piloţilor fiind realizată prin sudură, şuruburi de înaltă rezistenţă, etc.

Radierele din beton armat sunt cel mai des utilizate datorită formelor variate de realizare, a comportării favorabile sub încărcări, a duratei mari de viaţă, a gradului sporit de monolitism între capetele piloţilor, etc.

Adâncimea de fundare a radierului se stabileşte în funcţie de:

- existenţa subsolurilor şi a instalaţiilor subterane;
- condiţiile geologice şi hidrologice ale amplasamentului;
- adâncimea minimă de îngheţ, etc.

Lungimea minimă intactă de pătrundere a capetelor piloţilor din beton armat în radier, notată „a" şi de ancorare a armăturilor longitudinale din piloţi, notată „b", fig. 1.129 este după cum urmează:

1. **pentru piloţi solicitaţi la compresiune şi consideraţi articulaţi în radier:**
   a=5 cm;
   b=25 cm.
2. **pentru piloţi solicitaţi la forţe orizontale şi consideraţi articulaţi în radier:**
   a=10 cm;
   b=30 cm.
3. **pentru piloţi solicitaţi la smulgere sau forţe orizontale mari consideraţi încastraţi în radier:**
   a=15 cm;
   b=20ϕ, pentru PC52;
   b=40ϕ, pentru OB37,
   (ϕ = diametrul armăturii).

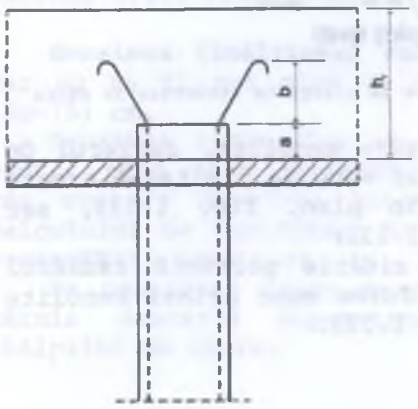


Fig. 1.129. Lungimea minimă intactă de pătrundere a capului pilotului în radier şi de ancorare a armăturii longitudinale

Pentru sporirea duratei de viaţă a acestor tipuri de fundaţii este recomandat ca piloţii şi radierul să lucreze sub nivelul apei.

Radierele din lemn sunt alcătuite din grinzi longitudinale (2) şi transversale (1) care leagă capetele piloţilor (4) după cele două direcţii prin îmbinări tip cep sau cleşte (5), iar la partea superioară a grinzilor se aşează dulapi (3) de grosime (6-10)cm, fig. 1.128.

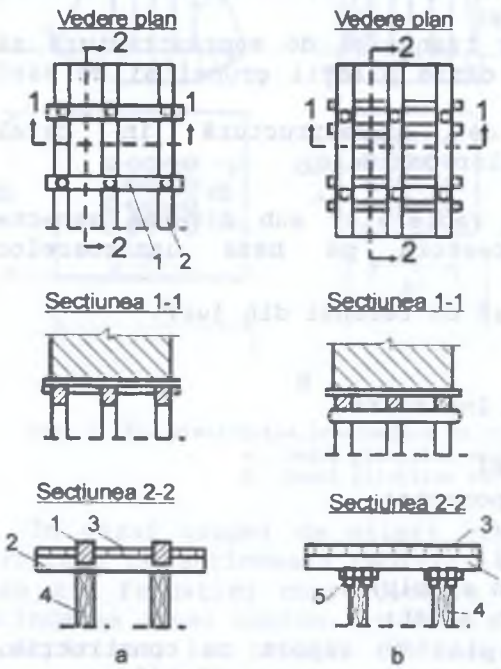


Fig. 1.128. Radiere şi piloţi din lemn
a. cu grinzi longitudinale şi transversale;
b. cu grinzi longitudinale şi cleşti de solidarizare între piloţi.

În cazul radierelor joase, spaţiul dintre grinzi se umple cu piatră spartă.

Dacă radierul ce leagă capetele piloţilor din lemn se realizează din beton, se recomandă ca:

- grosimea minimă a radierului să fie 30 cm;
- grosimea radierului să asigure o betonare a capului pilotului de cel puţin 1,5d (d-diametrul pilotului) pentru solicitarea de compresiune şi cel puţin 2d pentru solicitarea de smulgere, în cel de-al doilea caz capul pilotului se prelucrează sub formă tronconică iar în jurul capului se prevede o armătură suplimentară sub formă de spirală ca în fig. 1.9;
- cota radierului se alege astfel încât să asigure lucrul sub apă pentru toţi piloţii grupei;
- clasa minimă a betonului utilizat, Bc10.

Radierele metalice sunt utilizate în general în cazul piloţilor şi suprastructurilor din metal şi numai acolo unde

sunt asigurate condiţii de protecţie împotriva coroziunii atmosferice sau a apelor agresive.

Elementele componente principale ale radierelor metalice sunt formate din grinzi metalice dispuse după cele două direcţii, iar legătura dintre acestea şi capetele piloţilor fiind realizată prin sudură, şuruburi de înaltă rezistenţă, etc.

Radierele din beton armat sunt cel mai des utilizate datorită formelor variate de realizare, a comportării favorabile sub încărcări, a duratei mari de viaţă, a gradului sporit de monolitism între capetele piloţilor, etc.

Adâncimea de fundare a radierului se stabileşte în funcţie de;

- existenţa subsolurilor şi a instalaţiilor subterane;
- condiţiile geologice şi hidrologice ale amplasamentului;
- adâncimea minimă de îngheţ, etc.

Lungimea minimă intactă de pătrundere a capetelor piloţilor din beton armat în radier, notată „a" şi de ancorare a armăturilor longitudinale din piloţi, notată „b", fig. 1.129 este după cum urmează:

1. **pentru piloţi solicitaţi la compresiune şi consideraţi articulaţi în radier:**
   a=5 cm;
   b=25 cm.
2. **pentru piloţi solicitaţi la forţe orizontale şi consideraţi articulaţi în radier:**
   a=10 cm;
   b=30 cm.
3. **pentru piloţi solicitaţi la smulgere sau forţe orizontale mari consideraţi încastraţi în radier:**
   a=15 cm;
   b=20ϕ, pentru PC52;
   b=40ϕ, pentru OB37,
   (ϕ = diametrul armăturii).

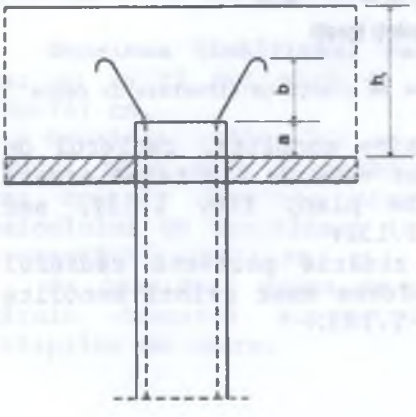


Fig. 1.129. Lungimea minimă intactă de pătrundere a capului pilotului în radier şi de ancorare a armăturii longitudinale

Pentru a se asigura îndeplinirea condiţiilor de mai sus, se recomandă în cazul radierelor joase ca lungimea pilotului să fie mai mare decât fişa acestuia cu aproximativ 1,0m:

L_{pilot}=Fişă pilot+≈1,0m.

Distanţa între faţa exterioară a piloţilor marginali şi extremitatea radierului trebuie să fie minim 1d, dar cel puţin 25 cm,

Clasa minimă a betonului utilizat la realizarea radierelor este Bc 10.

1.4.2.7.3. Proiectarea radierelor din beton armat

Proiectarea radierelor din beton armat ce solidarizează capetele piloţilor presupune stabilirea următoarelor:

- forma radierului;
- dimensiunile în plan;
- grosimea (înălţimea) radierului;
- cantitatea de armătură şi dispunerea acesteia pe secţiunea radierului.

Forma radierului se alege în raport cu forma şi alcătuirea suprastructurii construcţiei, astfel:

- pentru structuri în cadre cu stâlpi prefabricaţi devine obligatorie forma de radier tip pahar, fig. 1.130.

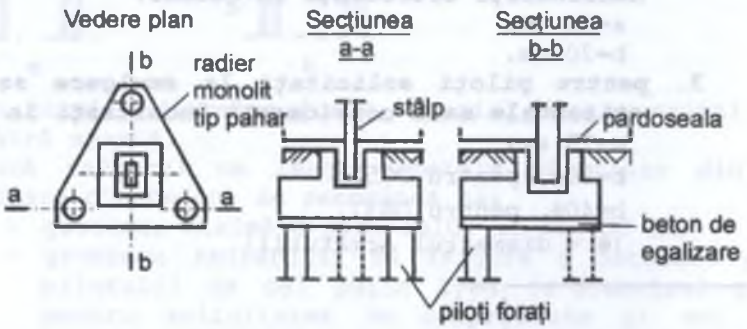


Fig. 1.130. Radier tip pahar pentru o fundaţie pe piloţi cu structura în cadre

- pentru structuri în cadre monolite, radierul de solidarizare a piloţilor este de tip talpă armată având diverse forme în plan, fig. 1.131, sau formă nervurată, fig. 1.132;
- pentru structuri din zidărie portantă radierul poate fi realizat sub forma unor grinzi monolite sau prefabricate, fig. 1.133.

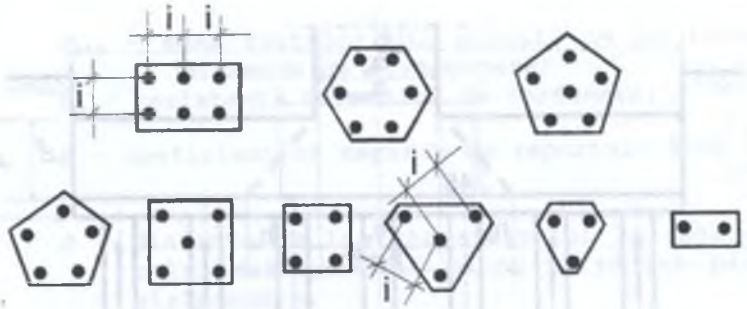


Fig. 1.131. Forme de radier tip talpă armată pentru structuri în cadre realizate monolit

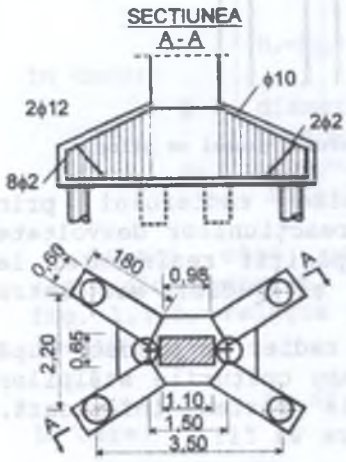


Fig. 1.132. Radier monolit de formă nervurată

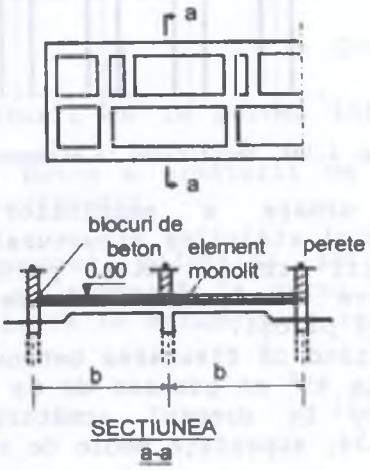


Fig. 1.133. Radier tip grindă pentru o structură din zidărie portantă

Dimensiunile în plan ale radierului se stabilesc în funcţie de numărul de piloţi şi distanţele recomandate între ei, precum şi între feţele exterioare ale piloţilor marginali şi extremităţile radierului.

Grosimea (înălţimea) radierului se determină prin calcul, dar nu va fi mai mică de 30 cm, ajungând până la valori de (50-75) cm.

Grosimea radierului se ia cu valoarea maximă recomandată atunci când este satisfăcută verificarea la străpungere, în caz contrar grosimea minimă a radierului rezultă în urma calculului de verificare la străpungere, care se face conform prezentării următoare.

Se consideră grupa de piloţi din fig. 1.134, pe radierul căruia descarcă suprastructura clădirii prin intermediul stâlpilor de cadre.

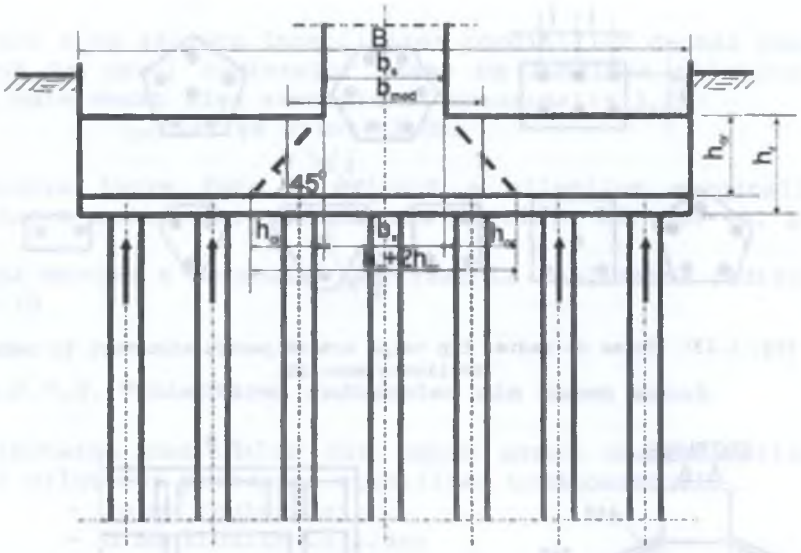


Fig. 1.134. Verificarea la străpungere a radierului grupei de piloţi

Ca urmare a sarcinilor transmise radierului prin intermediul stâlpilor structurali şi a reacţiunilor dezvoltate în piloţii grupei, există pericolul depăşirii rezistenţei la poansonare (străpungere) între stâlpi şi radier sau între radier şi piloţi.

Admiţând că fisurarea betonului din radier se produce după drepte la 45^0 ce pornesc de la feţele sau colţurile stâlpilor şi ajung în dreptul armăturii de la partea inferioară, fig. 1.134, suprafaţa medie de străpungere va fi:

$$A_{str} = b_{med} \cdot h_{0r} = \left(b_s + \frac{2h_{0r}}{2} \right) \cdot h_{0r} = (b_s + h_{0r}) \cdot h_{0r} \qquad (272)$$

în care:

b_{med} - lungimea medie de strivire

$$b_{med} = \left(b_s + \frac{2h_{0r}}{2} \right) = b_s + h_{0r}$$

h_{0r} - înălţimea (grosimea) utilă a radierului;

b_s - latura stâlpului după latura b_r a radierului.

Forţei de strivire (P_{str}) a radierului, se opune betonul aferent suprafeţei medii de străpungere.

Matematic, condiţia ca forţa de strivire să nu depăşească capacitatea portantă a betonului la acest tip de solicitare după suprafaţa medie de străpungere, se scrie sub forma:

$$P_{str} \leq R_b \cdot A_{str} \cdot K$$

sau (273)

$$P_{str} \leq R_b (b_s + h_{0r}) \cdot h_{0r} \cdot K$$

unde:

P_{str} - suma forţelor din piloţii ce nu intră în sub piramida de străpungere;

R_b - rezistenţa betonului la forfecare;

K - coeficient ce depinde de raportul: $K=f\left(\frac{c}{h_0}\right)$,

iar:

c - distanţa de la faţa stâlpului la faţa pilotului celui mai apropiat ce nu intră sub piramida de străpungere.

Înălţimea (grosimea) minimă utilă a radierului rezultă din condiţia de verificare la străpungere, relaţia (273), iar înălţimea (grosimea) totală minimă a radierului va fi:

$$h_r=h_{0r}+\phi/2+a_b, \qquad (274)$$

în care:

ϕ - diametrul armăturii de la partea inferioară a radierului;

a_b - acoperirea cu beton a armăturii de la partea inferioară a radierului.

Atunci când prin dispunerea piloţilor pe suprafaţa radierului general, aceştia se grupează în jurul stâlpilor, fig. 1.135, relaţia de verificare la străpungere se scrie sub forma:

$$P_{str}\leq 0,75R_b.A_{str}, \qquad (275)$$

în care:

$$A_{str}=\left(2a_s+2b_s+\frac{8h_{or}}{2}\right)\cdot h_{or}=2(a_s+b_s+2h_{or})\cdot h_{or}, \qquad (276)$$

iar dacă $a_s=b_s$, rezultă:

$$A_{str}=4(a_s+h_0).h_{or} \qquad (277)$$

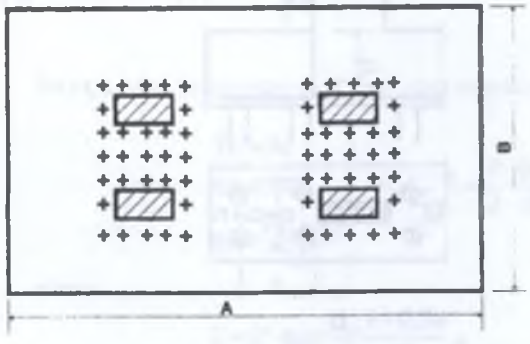


Fig. 1.135. Gruparea piloţilor în jurul stâlpilor

Cantitatea de armătură rezultă în urma calculului radierului din beton armat conform [15], [16], sub acţiunea

încărcărilor provenite de la suprastructură şi a reacţiunilor din piloţi.

Calculul radierelor înalte se face în ipoteza că placa sa infinit rigidă reazemă pe stâlpi (piloţi) elastici a căror capete se consideră încastrate rigid în placa radierului, iar vârfurile încastrate elastic în pământ.

Radierul înalt pe piloţi este asimilat în calcul printr-un cadru spaţial sau plan în care rigla rigidă este reprezentată de placa radierului, iar stâlpii sunt constituiţi din piloţi cu încastrare rigidă la capete şi elastică la vârf.

Calculul solicitărilor din piloţi se face conform prezentării de la punctul 1.4.2.4.

În cazul radierelor joase dimensiunile stabilite din considerente constructive sunt în general acoperitoare fără a necesita verificări suplimentare.

Armătura radierului rezultată din calcul sau dispusă constructiv se repartizează pe secţiunea transversală, sub formă de plase având diametrul barelor (20-25)mm, dimensiunile ochiurilor (10-20)cm şi acoperirea cu beton minim 5cm.

Cantitatea de armătură minimă este de (15-20)cm^2/m^2 radier.

Dacă există pericolul străpungerii radierului de către piloţi, deasupra capetelor acestora se prevăd două plase formate din bare având diametrul ϕ12mm şi dimensiunile ochiurilor formate 15/15cm.

Radierele alcătuite sub formă de talpă pentru stâlpi, armătura de rezistenţă dispusă la partea inferioară sub formă de plasă trebuie să preia eforturile de întindere ce se dezvoltă din încărcări şi reacţiunile din capul piloţilor.

Secţiunea de calcul caracteristică pentru radiere de înălţime normală se consideră ca fiind situată la:

- h/2 în raport cu faţa stâlpului, fig. 1.136a;
- faţa stâlpului atunci când există piloţi în cuprinsul distanţei de h/2, fig. 1.136b;
- $h_1/2$ în raport cu faţa stâlpului pentru anumite cazuri particulare, fig. 1.137.

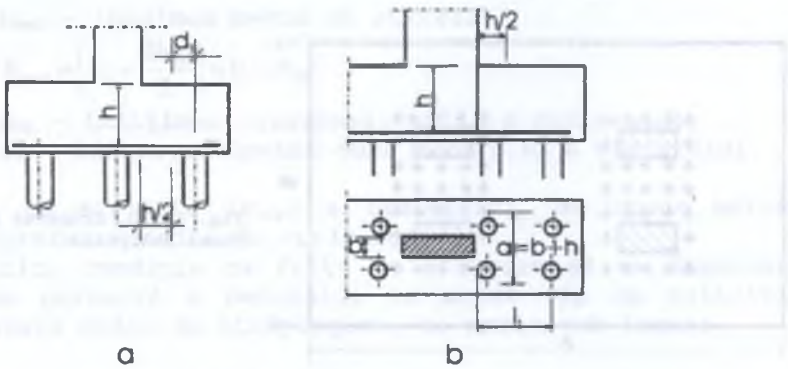


Fig. 1.136. Secţiuni de referinţă ale armăturii radierului
a. când pe distanţa h/2 de la faţa stâlpului nu există piloţi;
b. când există piloţi pe distanţa h/2 de la faţa stâlpului.

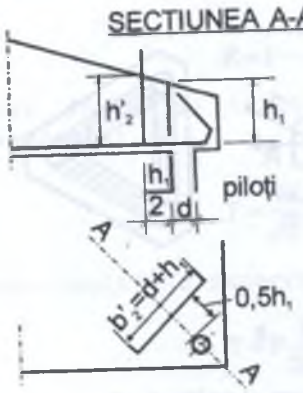


Fig. 1.137. Secțiune particulară de referință pentru calculul armăturii de rezistență a radierului

Forța de întindere preluată de armătură se determină în raport cu modul de dispunere pe radier a piloților, astfel:

- **cazul radierelor cu doi piloți**, fig. 1.138

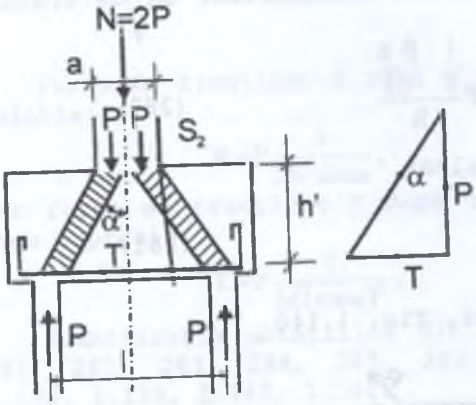


Fig. 1.138. Schema statică de calcul a radierelor cu doi piloți

Forța de întindere T se determină din condițiile:

$$\left.\begin{aligned} Th' &= M \\ h' &= 0.9h \\ M &= \frac{P(i-a)}{2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad T = \frac{P}{2}\cdot\frac{(i-a)}{0,9h}, \qquad (277)$$

sau:

$$T = P\cdot tg\alpha = P\frac{i-0,5a}{2h}, \qquad (278)$$

- **cazul radierelor cu trei piloţi**, fig. 1.138

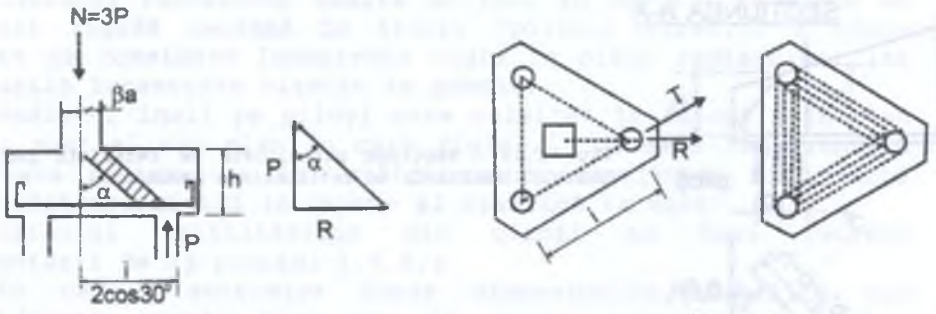


Fig. 1.139. Radier cu 3 piloţi
a. schemă de calcul;
b. forţele de întindere şi poziţia armăturii.

Forţa de tracţiune R după direcţia medianei va avea expresia:

$$R = P \cdot tg\alpha = P\frac{\frac{i}{\sqrt{3}} - \beta \cdot a}{h}, \qquad (279)$$

iar forţa de tracţiune T după latura radierului se determină cu relaţia:

$$T = \frac{R}{2} \cdot \frac{1}{\cos 30^0} = \frac{R}{\sqrt{3}} = P\frac{\frac{i}{3} - \frac{\beta \cdot a}{\sqrt{3}}}{h}, \qquad (280)$$

sau neglijând raportul $\frac{\beta \cdot a}{\sqrt{3}}$, rezultă:

$$T = \frac{P}{3} \cdot \frac{i}{h}, \qquad (281)$$

- **radiere cu patru piloţi**, fig. 1.140

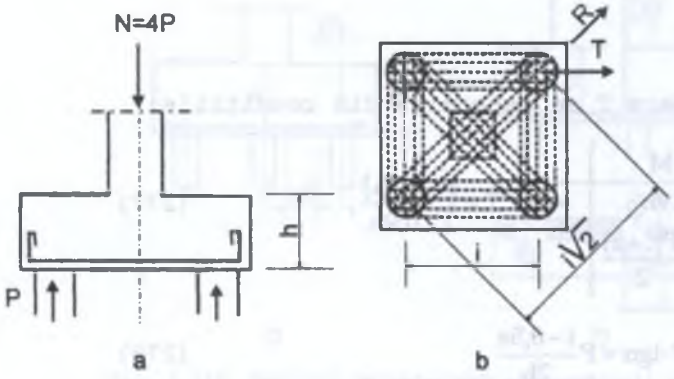


Fig. 1.140. Radiere cu patru piloţi
a. schema de calcul;
b. dispunerea piloţilor pe radier şi a armăturii întinse.

Forţa de tracţiune R după diagonală se determină cu relaţia:

$$R = P\frac{i\sqrt{2} - a\frac{\sqrt{2}}{2}}{2h}, \qquad (282)$$

iar forţa de tracţiune T după latura radierului va avea expresia:

$$T = \frac{R}{\sqrt{2}} = P\frac{i - \frac{a}{2}}{2h}, \qquad (283)$$

sau neglijând raportul $\frac{a}{2}$, rezultă:

$$T = P\frac{i}{2h}, \qquad (284)$$

- **radiere cu piloţii dispuşi după un contur poligonal,** fig. 1.141.

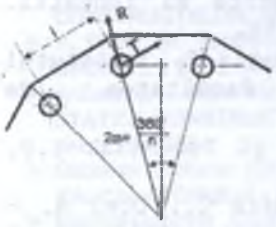


Fig. 1.141. Radier cu dispunerea piloţilor după un contur poligonal

Forţa de tracţiune R după direcţia radială se determină cu relaţia:

$$R = P\frac{1}{2h \cdot \sin\omega}, \qquad (285)$$

iar forţa de tracţiune T după direcţia laturii radierului va avea expresia:

$$T = P\frac{i}{h(2\sin\omega)^2}, \qquad (286)$$

Semnificaţia notaţiilor din relaţiile 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286 sunt prezentate în figurile 1.138, 1.139, 1.140, 1.141.

În cazul radierelor generale cu dispunere uniformă a piloţilor, calculul se face ca pentru radiere generale fundate direct, acţionate de jos în sus cu reacţiunea uniformă a terenului.

Ipoteza de calcul admisă este valabilă numai pentru radiere cu rigiditate suficient de mare.

După stabilirea prin calcul a cantităţii de armătură aceasta se dispune pe secţiunea radierului în zona întinsă, cu respectarea prescripţiilor de alcătuire precizate şi a tuturor regulilor specifice acestor tipuri de elemente din beton armat.

Mărcile uzuale de oţel beton utilizate sunt OB 37 şi PC 52, iar clasa minimă a betonului este Bc 10.

BIBLIOGRAFIE

1. Bowles E. Joseph - Foundation Analysis Design Mc Graw-Hill International Book Company, 1982.
2. Carter M. - Geotechnical Engineering Handbook, Pentech Press 1983.
3. Cestele Gundi - Teoria di Mecanica del Terreno, 1985.
4. Maior N., Păunescu M. - Geotehnică şi fundaţii, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1967.
5. Manoliu Iacint - Fundaţii şi procedee de fundare. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti , 1983.
6. Popa C., Băbeanu T. - Fundaţii de adâncime pe coloane, MTT, Centrul de documentare şi publicaţii tehnice, 1975.
7. Răileanu P. ş.a. - Geotehnică şi fundaţii. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.
8. Răileanu P. ş.a. - Geologie, geotehnică şi fundaţii. I.P. Iaşi, vil. III, 1986.
9. Răileanu P., Muşat V., Boţu N. - Fundaţii 2, Institutul Politehnic Iaşi, Facultatea de Construcţii Iaşi, 1992.
10. Silion Tudor - Geologie, geotehnică şi fundaţii. I.P. Iaşi, vil. III, 1973.
11. Suman R., Ghibu M., Gheorghiu N., Oara C., Oţel A. - Tehnologii moderne în construcţii, vol. I şi II, Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
12. Tomlinson M.J. - Proiectarea şi executarea fundaţiilor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1969.
13. Winterkorn H.F., Fang H.Y. - Foundation Engineering Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, 1975.
14. *** NE 012-99 - Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat şi beton precomprimat.
15. *** STAS 10102/75 - Construcţii din beton, beton armat şi beton precomprimat.
16. *** STAS 10107/0-90 - Calculul şi alcătuirea elementelor din beton, beton armat şi beton precomprimat.
17. *** STAS 2561/1-83 - Piloţi. Clasificare, termologie.
18. *** STAS 2561/2-81 - Fundaţii pe piloţi. Încercare în teren a piloţilor cu probă şi din fundaţii.
19. *** STAS 2561/3-83 - Fundaţii pe piloţi. Prescripţii generale de proiectare.
20. *** STAS 2561/3-90 - Piloţi - prescripţii generale de proiecţie.
21. *** STAS 2561/4-90 - Piloţi foraţi de diametru mare.
22. *** STAS 3300/2-85 - Calculul terenului de fundare în cazul fundării directe.

CĂRŢI TEHNICE - MATRIX ROM - CĂRŢI ACADEMICE

15 ani de activitate - peste 2000 de titluri

Selecţie din lucrările apărute în domeniul **CONSTRUCŢII*** :

BAZELE CONSTRUCŢIILOR

- Mircea Balcu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **COMPORTAREA INELASTICĂ A BETONULUI, ROCILOR ŞI MATERIALELOR GEOTEHNICE** • Preţ: 12 RON - *pe suport electronic (CD)*
- Mircea Balcu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **PROBLEME ACTUALE ÎN MECANICA SOLIDULUI DEFORMABIL CU APLICAŢII ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ: 20 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Manuela Bălan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **REZISTENŢA MATERIALELOR** • Preţ: 30 RON
- V. Bănuţ, M. Teodorescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **STATICA CONSTRUCŢIILOR. APLICAŢII. STRUCTURI STATIC DETERMINATE** • Preţ: 17 RON
- V. Bănuţ, M. Teodorescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **STATICA CONSTRUCŢIILOR. APLICAŢII. STRUCTURI STATIC NEDETERMINATE** • Preţ: 21 RON
- V. Bănuţ, M. Teodorescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **DINAMICA CONSTRUCŢIILOR. APLICAŢII REZOLVATE** • Preţ: 12 RON
- V. Bănuţ, M. Teodorescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CALCULUL DE ORDINUL II ŞI DE STABILITATE. APLICAŢII REZOLVATE** • Preţ: 15 RON
- Al.Catarig, L.Kopenetz, FI.Trifa (Universitatea Tehnică Cluj Napoca, Universitatea Oradea) – **STATICA CONSTRUCTIILOR. STRUCTURI STATIC DETERMINATE** • Preţ: 23 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Octavian Ciobanu (Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi) – **PROIECTARE CU AJUTORUL CALCULATORULUI** • Preţ: 21 RON
- Iolanda-Gabriela Craifaleanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **MODELE NELINIARE CU UN GRAD DE LIBERTATE ÎN INGINERIA SEISMICĂ** • Preţ: 20 RON
- Iolanda-Gabriela Craifaleanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **INTRODUCERE ÎN CALCULUL STRUCTURAL CU PROGRAMUL SAP2000** • Preţ: 12 RON
- Liviu Crainic, Ilinca Stănciulescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **CALCUL POSTELASTIQUE DES STRUCTURES** • Preţ: 10 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Liliana Crăciunescu, Eugenia Popa (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **MATERIALE DE CONSTRUCŢIE PENTRU UZUL STUDENŢILOR – PROFIL CONSTRUCŢII** • Preţ: 25 RON
- Ruxandra Enache (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **RĂSPUNS SEISMIC TORSIONAL GENERAT DE CUTREMURELE VRÂNCENE** • Preţ: 13 RON
- M. Gheorghiu, M. Chelcea (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **ÎNDRUMĂTOR PENTRU DESEN TEHNIC DE CONSTRUCŢII** • Preţ: 10 RON
- Mihai Manole (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CONSTRUCŢII. ALCĂTUIRI CONSTRUCTIVE ALE PRINCIPALELOR SUBANSAMBLURI** • Preţ: 9 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Florica Paul (Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti) – **CIVIL ENGINEERING MATERIALS** • Preţ: 23 RON
- Florian Petrescu (Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti) – **SISTEME INFORMATICE GEOGRAFICE ÎN URBANISM ŞI AMENAJAREA TERITORIULUI** • Preţ: 21 RON
- Hanna Cristina Popescu, Mădălin Iliescu, Otilia Marinela Dumitru, Daniela Marilena Cotescu, Florina Laura Cheţan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **DESEN TEHNIC DE CONSTRUCŢII. PRESCRIPŢII GENERALE CONFORM STANDARDELOR ÎN VIGOARE. SUPORT SEMINAR** • Preţ: 6 RON
- Nicolae Postăvaru, Dana Eremia, Dana Galan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **GHID PENTRU ÎNTOCMIREA DOCUMENTAŢIILOR TEHNICO-ECONOMICE LA PROIECTELE DE INSTALAŢII ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ: 25 RON
- Gabriela Proca (Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi) – **CONSTRUCŢII** • Preţ: 13 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Gabriela Proca (Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iaşi) – **SILICONI ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ:9 RON
- Petru Răpişcă, Florin-Lucian Tămaş, Radu Muntean (Universitatea "Transilvania" Braşov) – **DETERMINAREA CALITĂŢII MATERIALELOR DE CONSTRUCŢII** • Preţ:33 RON

- Petru Răpişcă (Universitatea "Transilvania" Braşov) –**MATERIALE DE CONSTRUCŢII** • Preţ:50 RON
- Lucica Roşu (Universitatea "Ovidius" Constanţa) – **DESEN TEHNIC DE CONSTRUCŢII. CURS PENTRU UZUL STUDENŢILOR** • Preţ: 19 RON
- Vasile Szolga ş.a. (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SISTEME DIN BARE. GRINZI CU ZĂBRELE vol.1** • Preţ: 28 RON
- Vasile Szolga ş.a. (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SISTEME DIN BARE. GRINZI CU ZĂBRELE vol.2** • Preţ: 23 RON
- M. Teodorescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **STATICA CONSTRUCŢIILOR. STRUCTURI STATIC DETERMINATE** • Preţ: 9 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Sorin Vulcăneanu (Academia de Poliţie) – **DE LA SEMNE ŞI SIMBOLURI LA CITIREA PLANURILOR, REPREZENTAREA CONSTRUCŢIILOR DE CLĂDIRI ŞI A SPAŢIILOR ÎNVECINATE** • Preţ: 24 RON

CONSTRUCŢII CIVILE, INDUSTRIALE ŞI AGRICOLE

- H. Asanache (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **HIGROTERMICA CLĂDIRILOR** • Preţ: 23 RON
- H. Asanache (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **HIGROTERMICA CLĂDIRILOR. APLICAŢII** • Preţ: 15 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Ioan Bică (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **HIDRAULICĂ URBANĂ ŞI HIDROLOGIE** • Preţ: 12 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Constantin Budan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **SOLUŢII TEHNOLOGICE PENTRU REPARAREA CLĂDIRILOR REALIZATE CU MATERIALE LOCALE** • Preţ: 9 RON
- Mirela Chelcea, Monica Gheorghiu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **AUTOCAD 2D. APLICAŢII PENTRU CONSTRUCŢII CIVILE** • Preţ: 21 RON
- Mirela Chelcea, Ştefania Păun, Monica Gheorghiu, Florentina Dumitru (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **AUTOCAD 2D. Contains applications of civil constructions specific** • Preţ: 21 RON
- Liviu Cralnic, Eugen Enache (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **PRESTRESSED CONCRETE** • Preţ: 13 RON
- Mirel Florin Delia (Universitatea Tehnică de Horia Construcţii Bucureşti) – **CONSTRUCŢII. SUBANSAMBLURI CONSTRUCTIVE** • Preţ: 15 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Mirel Florin Delia (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **UTILIZAREA ANALIZELOR TERMO-HIGRO-ENERGETICE ÎN PROIECTAREA CLĂDIRILOR** • Preţ: 17 RON
- Şerban Dima (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **COMPORTAREA ŞI CALCULUL DIAFRAGMELOR DIN TABLĂ CUTATĂ UTILIZATE ÎN CADRUL CONSTRUCŢIILOR CU STRUCTURĂ METALICĂ** • Preţ: 23 RON
- Maria Faur – **COROZIUNEA ATMOSFERICĂ A TABLEI DE ZINC PENTRU CONSTRUCŢII** • Preţ: 19 RON
- Dan-Paul Georgescu (INCERC Bucureşti) – **UTILIZAREA CIMENTURILOR ŞI ADITIVILOR PENTRU ASIGURAREA DURABILITĂŢII BETONULUI** • Preţ: 14 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Corneliu Dan Hâncu – (Universitatea "Ovidius" Constanţa) – **DEZVOLTARE RURALĂ** • Preţ: 21 RON
- Paul Ioan, Ştefan Betea (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **STRUCTURI METALICE MULTIETAJATE AMPLASATE IN ZONE SEISMICE** • Preţ: 12 RON
- Anton Ioanidi -**CONTRIBUŢII LA PERFECŢIONAREA CONCEPŢIEI ŞI TEHNOLOGIILOR DE EXECUŢIE A TUNELURILOR** • Preţ : 14 RON- *pe suport electronic (CD)*
- Vlad Iordache (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **PROTECŢIE LA ZGOMOT. ACUSTICA CLĂDIRII ŞI A INSTALAŢIILOR** • Preţ : 25 RON
- Oana Luca (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **TEORIA ŞI PRACTICA URBANISMULUI. LOCUIREA URBANĂ** • Preţ: 10 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Carmen Maftei, Lucica Rosu, Constantin Buta (Universitatea "Ovidius" Constanţa) – **EROZIUNEA DE ADÂNCIME. MĂSURI DE PROTECŢIE** • Preţ: 13 RON
- Dorel Plătică (Universitatea Tehnica Gh.Asachi Iasi) – **FUNDAŢII. ELEMENTE GENERALE PRIVIND PROIECTAREA FUNDAŢIILOR** • Preţ:13 RON
- Tudor Postelnicu, Marius Gabor (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **BETON PRECOMPRIMAT. NOTE DE CURS** • Preţ: 12 RON
- Tudor Postelnicu, Daniel Nistorescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **ÎNDRUMĂTOR DE PROIECTARE. STRUCTURĂ DIN BETON ARMAT CU 2 NIVELURI** • Preţ: 14 RON
- Tudor Postelnicu ş.a. (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **COMPORTAREA ŞI CALCULUL PRINDERILOR PE ELEMENTE DE BETON ŞI ZIDĂRIE** • Preţ: 29 RON

- Tudor Postelnicu, Mihai Munteanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **BETON ARMAT. CALCULUL ELEMENTELOR DE BETON ARMAT** • Preţ: 17 RON
- T. Postelnicu, F. Ţilimpea, D. Zamfirescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **STRUCTURI DE BETON ARMAT PENTRU CLĂDIRI ETAJATE. EXEMPLE DE PROIECTARE**• Preţ: 13 RON
- Alexandrina Pretorian (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **PROIECTAREA CONSTRUCŢIILOR CIVILE** • Preţ: 55 RON
- N. Rădulescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **FUNDAŢII DE ADÂNCIME. MODELAREA ANALITICĂ A INTERACŢIUNII FUNDAŢIE-TEREN** • Preţ: 18 RON – *pe suport electronic(CD)*
- N.Rădulescu, H.Popa, A.Muntean (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **FUNDAŢII. ÎNDRUMĂTOR DE PROIECTARE** • Preţ: 19 RON
- Daniel Stan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CONSTRUCŢII ŞI MEDIU** • Preţ: 28 RON
- Daniel Stan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SISTEMUL CLĂDIRE. SISTEME STRUCTURALE** • Preţ: 29 RON
- Daniel Stan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **ANALIZA SISTEMICĂ A STRUCTURILOR. PROPRIETĂŢI SISTEMICE** • Preţ: 19 RON
- Dan Stematiu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **IAZURI DE DECANTARE. MANAGEMENTUL RISCULUI** • Preţ: 15 RON – pe suport electronic (CD)
- Dan Stematiu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **MECANICA ROCILOR PENTRU CONSTRUCŢII SUBTERANE** • Preţ: 15 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Alexandru Paul Takacs - **N.A.T.M. SAU NOUA METODĂ AUSTRIACĂ. PUNCTUL NOSTRU DE VEDERE** • Preţ: 20 RON - *pe suport electronic (CD)*
- Ioan Tuns (Universitatea "Transilvania" Braşov) **CALCULUL ŞI ALCĂTUIREA FUNDAŢIILOR PE PILOŢI** • Preţ: 21 RON
- Constantin Ţurcanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SOLUŢII ORIGINALE ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ: 17 RON
- Dan Zamfirescu, Tudor Postelnicu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **DURABILITATEA BETONULUI ARMAT. SINTEZA ELEMENTELOR DE BAZĂ** • Preţ: 10 RON

CONSTRUCŢII CĂI FERATE, DRUMURI ŞI PODURI

- Mihai Dicu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **UNELE TEHNOLOGII DE LUCRU APLICATE ÎN CONSTRUCŢIA DRUMURILOR** • Preţ: 21 RON
- Stelian Poştoacă (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **APARATE DE CALE. CONTRIBUŢII LA STABILIREA STĂRILOR DE EFORTURI ŞI DE DEFORMAŢII** • Preţ: 24 RON
- Carmen Răcănel (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **PROIECTAREA MODERNĂ A REŢETEI MIXTURII ASFALTICE** • Preţ: 17 RON
- C. Romanescu, Carmen Răcănel (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **REOLOGIA LIANŢILOR BITUMINOŞI ŞI A MIXTURILOR ASFALTICE** • Preţ: 26 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Ion Stafie, Costin Radu Ţurcanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SISTEME DE MĂSURARE ŞI COMANDĂ PENTRU EXECUŢIA GEOMETRIEI CĂII FERATE** • Preţ: 9 RON – *pe suport electronic(CD)*
- Ion Stafie, Costin Radu Ţurcanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SUPRASTRUCTURI PENTRU CĂI FERATE MODERNE**• Preţ: 17 RON
- C.R.Ţurcanu, I. Stafie (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) –**PRISME DE BALAST PENTRU CĂI FERATE MODERNE**• Preţ: 12 RON
- C.R.Ţurcanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) –**MAŞINI DE CALE**• Preţ: 35 RON
- Ştefan Vicoleanu (Iaşi) – **CONTROLUL CALITĂŢII PROCESELOR DE EXECUŢIE LA LUCRĂRILE DE DRUMURI**• Preţ: 25 RON
- Ştefan Vicoleanu (Iaşi) – **CONTROLUL PROCESELOR DE EXECUŢIE LA PODURILE DIN BETON ARMAT CU GRINZI SIMPLU REZEMATE**• Preţ: 30 RON

INSTALAŢII PENTRU CONSTRUCŢII

- N.Antonescu, P.D.Stănescu, N.N.Antonescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **COŞURI ŞI INSTALAŢII DE TIRAJ. PROCESE ŞI METODICI DE CALCUL** • Preţ: 23 RON – *pe suport electronic (CD)*
- N. Antonescu, P.D. Stănescu, N.N. Antonescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **PROCESE DE ARDERE. BAZELE FIZICE ŞI EXPERIMENTALE** • Preţ: 31 RON
- C. Bianchi, N. Mira, D. Moroldo, ş.a (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **SISTEME DE ILUMINAT INTERIOR ŞI EXTERIOR** • Preţ: 46 RON

- Octavia Cocora (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **AUDITUL ŞI EXPERTIZA TERMICĂ A CLĂDIRILOR ŞI INSTALAŢIILOR AFERENTE** • Preţ: 25 RON
- Speranţa Coldea, Gheorghe-Constantin Ionescu (Universitatea din Oradea) – **ELEMENTE DE FIZICA FLUIDELOR ŞI HIDRAULICĂ** • Preţ: 33 RON
- Comisia Internaţională de Iluminat (CIE) - **GHIDUL CIE DE ILUMINAT INTERIOR PENTRU LOCURILE DE MUNCĂ** • Preţ: 10 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Mircea Degeratu, Georgeta Bandoc (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **INSTALAŢII ŞI ECHIPAMENTE PENTRU UTILIZAREA ENERGIEI MECANICE NEPOLUANTE. UTILIZAREA ENERGIEI VALURILOR** • Preţ: 11 RON
- Mircea Degeratu, Georgeta Bandoc (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **INSTALAŢII ŞI ECHIPAMENTE PENTRU UTILIZAREA ENERGIEI MECANICE NEPOLUANTE. UTILIZAREA ENERGIEI VÂNTULUI** • Preţ: 14 RON
- Alexandru Dimache, Mircea Mănescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **REŢELE EDILITARE** • Preţ: 30 RON
- Liviu Drughean (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SISTEME FRIGORIFICE NEPOLUANTE. SISTEME FRIGORIFICE CU COMPRIMARE MECANICĂ** • Preţ: 19 RON
- Liviu Drughean, Dragoş Hera, Alina Pîrvan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SISTEME FRIGORIFICE NEPOLUANTE** • Preţ: 21 RON
- Dumitru Enache, Iolanda Colda, Andrei Damian, Mihai Zgavarogea (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **INSTALAŢII DE VENTILARE ŞI CLIMATIZARE** • Preţ: 20 RON
- Mihai Florea, Dumitru Ion Arsenie, Ichinur Mîrzali (Universitatea "Ovidius" Constanţa) – **HIDRAULICA CONSTRUCŢIILOR. SISTEME SUB PRESIUNE** • Preţ: 18 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Corneliu C. Georgescu, Lucian I. Georgescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CALCULUL ŞI FUNCŢIONAREA REŢELELOR HIDRAULICE ŞI A ELECTROPOMPELOR AFERENTE** • Preţ: 23 RON
- Corneliu Dan Hâncu (Universitatea "Ovidius" Constanţa) – **PRIZE DE APĂ ŞI ADUCŢIUNI** • Preţ: 17 RON
- Dragoş Hera (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) –**CRIOGENIE TEHNICĂ** • Preţ: 33 RON
- Dragos Hera (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **INSTALAŢII FRIGORIFICE. AGENŢI FRIGORIFICI** • Preţ: 21 RON
- Dragoş Hera, Alina Girip (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **INSTALAŢII FRIGORIFICE. SCHEME ŞI CICLURI FRIGORIFICE** • Preţ: 35 RON
- Dragoş Hera, Liviu Drughean, Alina Girip (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **SCHEME ŞI CICLURI FRIGORIFICE PENTRU INSTALAŢIILE CU COMPRIMARE MECANICA** • Preţ: 26 RON
- O. Ianculescu, Gh. Ionescu, Raluca Racoviţeanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Universitatea Oradea) - **CANALIZĂRI** • Preţ: 25 RON
- O. Ianculescu, Gh. Ionescu, Raluca Racoviţeanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Universitatea Oradea) - **EPURAREA APELOR UZATE** • Preţ: 23 RON
- O. Ianculescu, Gh. Ionescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Universitatea Oradea) - **ALIMENTĂRI CU APĂ** • Preţ: 30 RON
- O. Ianculescu, D. Ianculescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **PROCESUL DE COAGULARE - FLOCULARE ÎN TRATAREA APEI DE ALIMENTARE** • Preţ: 23 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Jan Ignat, Cătălin Popovici (Universitatea Tehnică "Gh. Asachi", Iaşi) – **REŢELE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE** • Preţ: 28 RON
- M. Ilina, S. Ilina (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **ÎNCĂLZIREA LOCUINŢELOR INDIVIDUALE** • Preţ: 23 RON
- Mihai Ilina, Cătălin Lungu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **100 DE PROBLEME PRACTICE DE INSTALAŢII PENTRU ÎNCĂLZIRE** • Preţ: 39 RON
- C. Ionescu, S. Larionescu, S. Caluianu, D. Popescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **AUTOMATIZAREA INSTALAŢIILOR. COMENZI AUTOMATE** • Preţ : 31 RON
- Gheorghe Ionescu (Universitatea Oradea) – **OPTIMIZAREA FIABILITĂŢII INSTALATIILOR HIDRAULICE DIN SISTEMELE DE ALIMENTARE CU APĂ** • Preţ : 37 RON
- Gheorghe-Constantin Ionescu (Universitatea din Oradea) – **INSTALAŢII DE ALIMENTARE CU APĂ** • Preţ : 40 RON
- Florin Iordache (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **COMPORTAMENTUL DINAMIC AL ECHIPAMENTELOR ŞI SISTEMELOR TERMICE** •Preţ: 21 RON

- Florin Iordache, Bogdan Caracaleanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **COMPORTAMENTUL DINAMIC AL ECHIPAMENTELOR ŞI SISTEMELOR TERMICE. CULEGERE DE PROBLEME** • Preţ: 17 RON
- Hrisia Elena Moroldo (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) –**ECLAIRAGE INTERIEUR ET EXTERIEUR** • Preţ: 28 RON
- Gabriel Racoviţeanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **TEORIA DECANTĂRII ŞI FILTRĂRII APEI** • Preţ:17 RON
- Lucica Roşu (Universitatea "Ovidius" Constanţa) – **SISTEME ŞI REGULATOARE AUTOMATE UTILIZATE ÎN AMENAJĂRILE DE IRIGAŢII** • Preţ: 20 RON
- I. Sârbu, F. Kalmar (Universitatea "Politehnica" Timişoara) - **OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR** • Preţ: 40 RON
- Daniel Stan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CONSTRUCŢII SPECIALE PENTRU INSTALAŢII** • Preţ: 28 RON
- P.D.Stănescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **ARDEREA PELICULARĂ A DEŞEURILOR** • Preţ: 12 RON – *pe suport electronic (CD)*
- P.-D. Stănescu, Antonescu N. N., Popescu (Olea) Lelia Letiţia (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **ÎNDRUMĂTOR DE PROIECTARE. CAZANE**• Preţ: 25 RON
- Traian Şerbu (Academia de Poliţie) - **FIABILITATEA ŞI RISCUL INSTALAŢIILOR. ELEMENTE DE TEORIE ŞI CALCUL** • Preţ: 29 RON – *pe suport electronic (CD)*
- Cătălin Ioan Teodosiu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **MODELAREA ŞI SIMULAREA SISTEMELOR ÎN DOMENIUL INSTALAŢIILOR PENTRU CONSTRUCŢII**• Preţ: 22 RON

GEODEZIE

- Marcel Costel Brişan (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **TOPOGRAFIE, ed.2**• Preţ: 23 RON
- Constantin Coşarcă (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **TOPOGRAFIE INGINEREASCĂ** • Preţ: 31 RON
- Facultatea de Geodezie din Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti - **MĂSURĂTORI TERESTRE. FUNDAMENTE VOL. 1, 2, 3** • Preţ: 110 RON
- Ion Ionescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **FOTOGRAMETRIE INGINEREASCĂ** • Preţ: 22 RON
- Constantin Moldoveanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **GEODEZIE** • Preţ: 50 RON
- Constantin Munteanu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CARTOGRAFIE MATEMATICĂ** • Preţ: 21 RON
- Dumitru Onose (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **TOPOGRAFIE**• Preţ: 33 RON
- Aurel Sărăcin (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **TOPOGRAFIE. NOTE DE CURS ŞI APLICAŢII**• Preţ: 14 RON
- Gheorghe Tămâioagă, Daniela Tămâioagă (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CADASTRUL GENERAL ŞI CADASTRELE DE SPECIALITATE** • Preţ: 40 RON
- Gheorghe Tămâioagă, Daniela Tămâioagă (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **AUTOMATIZAREA LUCRĂRILOR DE CADASTRU**• Preţ: 19 RON

MANAGEMENTUL ÎN CONSTRUCŢII

- Maria Gheorghe (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **VALORIFICAREA DEŞEURILOR ŞI SUBPRODUSELOR INDUSTRIALE ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ 26 RON - *pe suport electronic (CD)*
- Petre Ioniţă - **CONSULTANŢĂ ÎN INVESTIŢII-CONSTRUCŢII. SERVICIILE INGINEREŞTI PRIVIND MANAGEMENTUL, CONCEPŢIA PRELIMINARĂ, PROIECTAREA ŞI SUPRAVEGHEREA LUCRĂRILOR** • Preţ : 20 RON
- Nicolae Postăvaru, Ştefan Băncilă, Cristina Icociu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **MANAGEMENT INTEGRAT AL PROIECTELOR INVESTIŢIONALE** • Preţ : 30 RON
- N. Postăvaru, Şt. Băncilă (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **MONITORIZAREA ŞI CONTROLUL EXECUŢIEI DE INVESTIŢII ÎN CONSTRUCŢII**• Preţ: 65 RON
- Nicolae Postăvaru, Nafees Ahmed Memon (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **CONSTRUCTION MANAGEMENT** • Preţ : 20 RON
- Gheorghe Zafiu, Aurel Gaidoş (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) - **INGINERIA ŞI MANAGEMENTUL RESURSELOR TEHNOLOGICE ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ: 17 RON – *pe suport electronic (CD)*

- Gh.Zafiu, Ion A. Ionescu (Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti) – **PROBLEMATICA ECOLOGICĂ A TEHNOLOGIILOR ÎN INDUSTRIA CONSTRUCŢIILOR** • Preţ: 9 RON – *pe suport electronic (CD)*

LUCRĂRI TEHNICO-ECONOMICE

- Victor Asquini în colaborare cu Emil Prager - **INDICATOR TEHNIC ÎN CONSTRUCŢII** • Preţ: 73 RON
- Aurel Cristian - colecţia **EFECTUAREA ŞI VERIFICAREA EXPERTIZELOR IMOBILIARE**
  - ***Expertiză tehnică, judiciară şi extrajudiciară. Servituţi.*** • preţ: 15 RON
  - ***Încălcări de hotare, grăniţuiri şi revendicări. Ieşiri din indiviziune şi partaje*** • preţ: 15 RON
  - ***Lucrări de întreţinere şi degradări. Îmbunătăţiri şi transformări la imobile*** • preţ: 16 RON
  - ***Extrase selectate şi rezumate din juristprudenţă, cazuri şi rezolvări privind expertiza tehnică imobiliară juridică 1970-1999*** • preţ: 60 RON
- **APARIŢII PERIODICE**
  - **Buletin tehnic de preţuri în mica construcţie şi reparaţii în construcţii**
  - **Buletin tehnic de preţuri la instalaţii electrice, sanitare, gaze, încălzire, canalizare**
  - **Îndreptar tehnic pentru evaluarea imediată a costurilor elementelor şi construcţiilor de locuinţe**
  - **Sistem de coeficienţi de actualizare rapidă a valorii de înlocuire a mijloacelor fixe - clădiri şi construcţii speciale**
- N. Georgescu, D. Stoian - colecţia **EVALUAREA RAPIDĂ A CONSTRUCŢIILOR**
  - ***Hale industriale*** • preţ: 11 RON
  - ***Spaţii comerciale*** • preţ: 11 RON
  - ***Depozite*** • preţ: 18 RON
  - ***Construcţii pentru învăţământ, ştiinţă, cultură, administraţie*** • preţ: 17 RON
  - ***Construcţii pentru sănătate, asistenţă socială, agrement*** • preţ: 19 RON
  - ***Construcţii pentru transport rutier, aerian*** • preţ: 11 RON
  - ***Construcţii pentru transport feroviar*** • preţ: 18 RON
  - ***Construcţii agricole*** • preţ: 15 RON
  - ***Construcţii pentru transport fluvial, maritim*** • preţ: 10 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru alimentare apă şi canal*** • preţ: 12 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru gaze, termoficare*** • preţ: 13 RON
  - ***Construcţii folosinţă generală*** • preţ: 21 RON
  - ***Locuinţe, cămine, hoteluri*** • preţ: 12 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria alimentară*** • preţ: 17 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria uşoară*** • preţ: 12 RON
  - ***Fundaţii, eşafodaje, utilaje*** • preţ: 9 RON
  - ***Reţele şi linii de transport energie electrică*** • preţ: 15 RON/
  - ***Drumuri şi construcţii anexe*** • preţ: 15 RON
  - ***Instalaţii electrice de forţă sub 1000 V*** • preţ: 15 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria materialelor de construcţii*** • preţ: 28 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria lemnului*** • preţ: 26 RON
  - ***Întreprinderi comunale - alimentări cu apă, canalizări*** • preţ: 39 RON
  - ***Întreprinderi comunale - transport orăşenesc, gaze*** • preţ: 17 RON
  - ***Industria metalelor neferoase*** • preţ: 15 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria chimică*** • preţ: 44 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria celulozei, hârtiei, fibrelor*** • preţ:31 RON
  - ***Construcţii hidrotehnice*** • preţ: 15 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria minieră de suprafaţă*** • preţ: 31 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru industria energiei electrice*** • preţ: 15 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pentru exploatare şi transport forestier*** • preţ: 19 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pt. industria metalurgiei feroase - obiecte comune*** • preţ: 19 RON
  - ***Construcţii şi clădiri speciale pt. industria metalurgiei feroase - cocserii, furnale*** • preţ: 19 RON
  - ***Plantaţii hortiviticole şi hameicole*** • preţ: 9 RON
- colecţia **CATALOAGE DE REEVALUARE A CLĂDIRILOR ŞI CONSTRUCŢIILOR SPECIALE DIN GRUPELE 1 ŞI 2 DE MIJLOACE FIXE** - ediţia 1964, document de referinţă în "*Metodologia*

pentru evaluarea clădirilor şi construcţiilor speciale din grupele 1 şi 2 de mijloace fixe", aprobată prin Ordinul nr. 32/N/1995 al MLPAT. (s-a păstrat numerotarea originală a cataloagelor):

- ***100 - Fundaţii şi eşafodaje susţinere utilaje*** • preţ: 8 RON
- ***101 - Clădiri şi construcţii din industria producătoare de energie electrică*** • preţ: 40 RON
- ***102 - Reţele aeriene de distribuţie şi linii de transport de energie electrică*** • preţ: 53 RON
- ***105 - Clădiri şi construcţii din industria metalurgiei feroase***
- ***Vol. I Obiecte comune din industria metalurgiei feroase*** • preţ: 31 RON
- ***Vol. II Obiecte din subramurile aglomerare cocserii furnale şi oţelării*** • preţ: 23 RON
- ***106 - Clădiri şi construcţii din industria metalurgiei neferoase*** • preţ: 18 RON
- ***107 - Clădiri şi construcţii din industria constructoare de maşini*** • preţ: 35 RON
- ***108 - Clădiri şi construcţii din industria materialelor de construcţii (inclusiv cariere şi balastiere)*** • preţ: 55 RON
- ***109 - Clădiri şi construcţii din industria lemnului*** • preţ: 57 RON
- ***110 - Clădiri şi construcţii forestiere*** • preţ: 26 RON
- ***111 - Clădiri şi construcţii din industria chimică*** • preţ: 67 RON
- ***113 - Clădiri şi construcţii din industria uşoară*** • preţ: 33 RON
- ***114 - Clădiri şi construcţii din industria alimentară*** • preţ: 34 RON
- ***115 - Clădiri şi construcţii agrozootehnice*** • preţ: 40 RON
- ***116 - Clădiri şi construcţii culturale, de artă şi poligrafie*** • preţ: 20 RON
- ***117 - Clădiri şi construcţii şcolare*** • preţ: 13 RON
- ***118 - Clădiri şi construcţii sanitare şi sociale*** • preţ: 13 RON
- ***119 - Clădiri şi construcţii sportive*** • preţ: 35 RON
- ***120 - Clădiri şi construcţii comerciale*** • preţ: 21 RON
- ***121 - Clădiri şi construcţii din cadrul cooperaţiei meşteşugăreşti şi de consum*** • preţ: 17 RON
- ***122 - Clădiri şi construcţii pentru transportul auto (aerogări, garaje, ateliere)*** • preţ: 13 RON
- ***123 - Clădiri şi construcţii pentru transportul feroviar*** • preţ:110 RON
- ***124 - Clădiri de locuit şi administrative*** • preţ: 22 RON
- ***125 - Construcţii meteorologice, hidrotehnice, de alimentări cu apă şi canalizare*** • preţ: 24 RON
- ***126 - Clădiri şi construcţii pentru industria gazelor*** • preţ: 50 RON
- ***127 - Clădiri şi construcţii de termoficare (inclusiv conductele de termoficare)*** • preţ: 11 RON
- ***128 - Construcţii hidrotehnice şi clădiri anexe pentru amenajări energetice*** • preţ: 22 RON
- ***129 - Clădiri, construcţii şi reţele pentru telecomunicaţii*** • preţ: 22 RON
- ***132 - Clădiri şi construcţii pentru întreprinderi comunale***
- ***Vol. I Alimentări cu apă potabilă şi industrială, canalizări comunale şi alte activităţi de gospodărie comunală*** • preţ: 77 RON
- ***Vol. II Transporturi orăşeneşti şi distribuţia gazelor*** • preţ: 42 RON
- ***133 - Drumuri şi construcţii anexe din incinta întreprinderilor, inclusiv racordurile*** • preţ: 121RON
- ***135 - Instalaţii electrice de forţă, sub 1000 V din clădirile şi construcţiile industriale*** • preţ:11 RON

➢ colecţia **INDICATOARE DE NORME DE DEVIZ** (ediţia 1981, inclusiv completările din perioada 1982-1989, publicate în Buletinul construcţiilor) **(Republicarea are la bază acordul autorilor şi al MLPTL)**

- ***C - Construcţii industriale, agrozootehnice, locuinţe, social-culturale*** • preţ: 120 RON
- ***S - Instalaţii sanitare*** • preţ: 99 RON
- ***E - Instalaţii electrice*** • preţ: 66 RON
- ***I - Instalaţii de încălzire*** • preţ: 66 RON
- ***Iz – Izolaţii*** • preţ: 72 RON
- ***Ts – Terasamente*** • preţ: 77 RON
- ***Ac - Alimentări cu apă şi canalizare*** • preţ: 72 RON
- ***H2 - Lucrări hidrotehnice portuare*** • preţ: 39 RON
- ***D – Drumuri*** • preţ: 44 RON
- ***P – Poduri*** • preţ: 44 RON
- ***T – Tunele*** • preţ: 61 RON
- ***L1 - Linii de cale ferată*** • preţ: 50 RON
- ***W3 - Semnalizări şi centralizări feroviare*** • preţ: 44 RON
- ***G – Gaze*** • preţ: 39 RON
- ***If - Îmbunătăţiri funciare*** • preţ: 33 RON
- ***H1 - Construcţii hidrotehnice suprafaţă şi subterane*** • preţ: 77 RON
- ***Rpl - Reparaţii instalaţii încălzire*** • preţ: 88 RON
- ***RpS - Reparaţii instalaţii sanitare*** • preţ: 83 RON
- ***RpC - Reparaţii construcţii*** • preţ: 110 RON

- ***RpE - Reparaţii instalaţii electrice*** • preţ: 72 RON
- ***RpAc - Reparaţii alimentări cu apă şi canalizare*** • preţ: 61 RON
- ***RpG - Reparaţii instalaţii gaze*** • preţ: 39 RON
- ***Tf – Termoficare*** • preţ: 33 RON
- ***M1 - Montaj utilaj general*** • preţ: 99 RON
- ***Tc – Telecomunicaţii*** • preţ: 72 RON
- ***At – Automatizări*** • preţ: 33 RON
- ***W2 - Linii electrice joasă tensiune*** • preţ: 110 RON
- ***W1 - Lucrări de staţii, posturi de transformare, linii electrice aeriene şi subterane de înaltă tensiune*** • preţ: 99 RON

➢ colecţia **REGLEMENTĂRI TEHNICE ÎN CONSTRUCŢII ŞI INSTALAŢII**

- ***Reglementări tehnice privind calculul construcţiilor şi elementelor de construcţie*** • preţ: 209
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de terasamente*** • preţ: 72 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea fundaţiilor*** • preţ: 165 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de beton, beton armat şi beton precomprimat*** • preţ: 132 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de cofraje, eşafodaje, schele*** • preţ: 17 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de zidării*** • preţ: 77 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de construcţii metalice*** • preţ: 171 RON
- ***Reglementări tehnice*** privind **protecţia construcţiilor şi instalaţiilor contra agenţilor** • preţ: 99 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de construcţii din lemn*** • preţ: 50 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de învelitori*** • preţ: 50
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de izolaţii*** • preţ: 220
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de tencuieli şi placaje*** • preţ: 44 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de pardoseli*** • preţ 61
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de tâmplărie şi geamuri*** • preţ 33 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor de zugrăveli şi vopsitorii*** • preţ 28 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea instalaţiilor de apă şi canalizare*** • preţ: 231
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea instalaţiilor termice, condiţionare a aerului şi gaze*** • preţ: 385 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea instalaţiilor electrice*** • preţ: 176 RON
- ***Reglementări tehnice privind verificarea calităţii şi recepţia lucrărilor de construcţii şi instalaţii*** • preţ: 149 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea, construirea, întreţinerea şi repararea drumurilor şi podurilor rutiere*** • preţ: 319 RON
- ***Reglementări tehnice privind proiectarea şi executarea lucrărilor geodezice, topografice, fotometrice şi cadastrale*** • preţ: 33 RON

Ofertele complete şi gratuite pe domenii se pot solicita telefonic. Achiziţionarea cărţilor se poate face direct de la sediul editurii, prin colet poştal cu plata ramburs (pe baza unei comenzi scrise) sau de la distribuitorii din Bucureşti (librăria RAMA, librăria AGIR, librăria Luceafărul, librăria Mihai Eminescu), Braşov, Cluj Napoca, Constanţa, Craiova, Iaşi, Piteşti, Sibiu, Timişoara. Clienţii primesc periodic informaţii despre noile lucrări apărute sau în curs de apariţie.

*** Preţurile din această ofertă sunt valabile începând cu 01.02.2008, includ TVA şi sunt exprimate în *RON = lei noi*.**

1. FUNDAŢII PE PILOŢI

1.1. DEFINIŢIE PILOŢI. DOMENII DE UTILIZARE

Piloţii sunt elemente structurale de fundare în adâncime caracterizate printr-un raport mare între lungime (fişa reală D) şi latura mică (a) sau diametrul (d) secţiunii transversale, fig. 1.1a:

$$\frac{D}{a(d)} \geq 15$$

Dacă pilotul este realizat prin forarea unei găuri având diametrul d≥600mm, introducerea unei carcase de armătură şi umplerea cu beton, acesta se numeşte **pilot de diametru mare**, fig. 1.1b.

Elementele de fundare cu d≥600mm şi raportul $\frac{D}{d} \geq 10$, realizate prin forare sub protecţia tuburilor prefabricate din beton armat, beton precomprimat sau ţevi metalice care ulterior rămân în lucrare poartă denumirea de **coloane**, fig. 1.1c.

Introducerea coloanelor în teren se face prin vibrare pe măsură ce se sapă şi se evacuează pământul din interior.

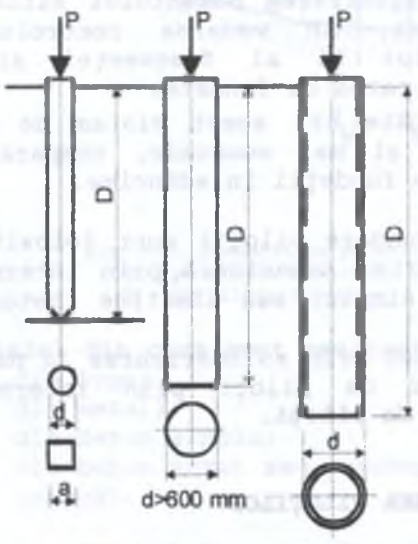


Fig. 1.1. Tipuri de elemente de fundare în adâncime
a - piloţi; b - piloţi de diametru mare; c - coloane

Elementele de fundare în adâncime definite mai sus fac parte dintr-o categorie mai largă de elemente denumite **fişate** sau poartă denumirea generală de **piloţi**, fiind deosebite între ele numai prin formă, dimensiuni şi tehnologia de execuţie.

Domeniile de utilizare ale piloţilor sunt diverse, în mod curent fiind întâlniţi în următoarele situaţii:

- pentru a asigura transmiterea încărcărilor verticale şi orizontale ale suprastructurii clădirii către straturile de pământ cu care piloţii vin în contact;
- pentru împiedicarea răsturnării radierelor de subsol aflate sub nivelul pânzei freatice sau sub cota de reazem pe teren a clădirilor înalte;
- pentru îmbunătăţirea gradului de compactare a pământurilor necoezive, slab coezive sau afânate, sub efectul combinat al vibrării şi îndesării pământului din jurul pilotului în timpul introducerii în teren;
- pentru împiedicarea tasării necontrolate a straturilor de pământ situate sub talpa fundaţiilor izolate sau a radierelor aflate în vecinătatea malurilor, cornişelor, taluzurilor, ori amplasate pe terenuri compresibile;
- pentru asigurarea unei rezemări suplimentare a culeelor şi pilelor de pod atunci când este dificil de realizat o rezemare corespunzătoare;
- pentru asigurarea stabilităţii masivelor de pământ aflate în proces de alunecare;
- pentru rigidizarea pământului situat sub fundaţiile de maşini, în vederea controlului amplitudinii vibraţiilor şi al frecvenţei sistemului maşină-fundaţie-teren de fundare;
- ori de câte ori acest sistem de fundare este mai raţional şi mai economic, comparativ cu celelalte tipuri de fundaţii în adâncime.

Ca sistem de fundare piloţii sunt folosiţi în grup, fiind solidarizaţi la partea superioară prin intermediul unei plăci rigide (din beton simplu) sau elastice (beton armat) denumită **radier**.

Ansamblul obţinut prin solidarizarea la partea superioară a unui anumit număr de piloţi prin intermediul radierului constituie o **grupă de piloţi**.

1.2. CLASIFICAREA PILOŢILOR

Piloţii se pot clasifica după următoarele criterii:

a. cota radierului faţă de nivelul terenului;
b. materialul din care sunt realizaţi;

c. forma geometrică în sens longitudinal şi transversal;
d. modul de execuţie;
e. efectul pe care procedeul de realizare a găurii îl are asupra terenului din jur;
f. direcţia solicitării faţă de axa longitudinală;
g. modul de transmitere a încărcărilor axiale la teren;
h. poziţia axei pilotului.

a. După cota radierului grupele de piloţi se clasifică în:
- piloţi adânci sau cu radier jos, la care cota inferioară a radierului este situată la peste 2m faţă de nivelul terenului şi se utilizează în cazul terenurilor a căror straturi de suprafaţă au o consistenţă slabă, fig. 1.2a;
- piloţi înalţi sau cu radier înalt, la care cota inferioară a radierului este deasupra terenului natural sau chiar deasupra nivelului apei, fig. 1.2b.

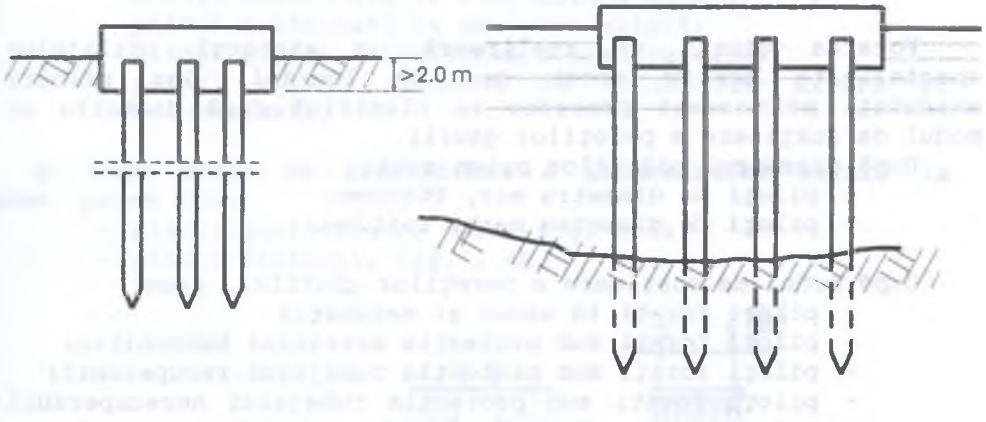


Fig. 1.2. Fundaţii pe piloţi
a. pe piloţi adânci;
b. pe piloţi înalţi.

b. După materialul din care sunt realizaţi, avem:
- piloţi din lemn;
- piloţi din metal;
- piloţi din beton simplu;
- piloţi din beton armat sau precomprimat;
- piloţi compuşi.

c. După forma geometrică în sens longitudinal putem avea piloţi cilindrici sau tronconici, iar **după forma secţiunii transversale** avem piloţi cu secţiune circulară, pătrată,

dreptunghiulară, triunghiulară, poligonală cu sau fără gol central.

d. După modul de execuţie se disting:
- piloţi prefabricaţi;
- piloţi executaţi pe loc.

Piloţii prefabricaţi se pot realiza în fabrici de prefabricate, ateliere specializate sau pe şantier, din lemn, metal, beton armat şi precomprimat, iar introducerea acestora în teren se poate face prin batere, presare, vibrare, vibropresare, înşurubare sau prin subspălare.

Piloţii executaţi pe loc se obţin în totalitate sau în cea mai mare parte prin realizarea unei găuri pe poziţia care va fi ocupată de pilot, urmată de umplerea acesteia cu beton.

Procedeele de realizare a acestor tipuri de piloţi, sunt:
- prin forare;
- prin batere;
- prin vibrare;
- prin vibropresare.

Forarea găurii se realizează cu ajutorul utilajelor specializate pentru acest gen de lucrări, iar piloţii executaţi prin acest procedeu se clasifică după diametru şi modul de susţinere a pereţilor găurii.

După diametrul piloţilor putem avea:
- piloţi de diametru mic, D≤600mm;
- piloţi de diametru mare, D>600mm.

După modul de susţinere a pereţilor găurilor, avem:
- piloţi foraţi în uscat şi netubaţi;
- piloţi foraţi sub protecţia noroiului bentonitic;
- piloţi foraţi sub protecţia tubajului recuperabil;
- piloţi foraţi sub protecţia tubajului nerecuperabil (pierdut).

Dacă tubajul nerecuperabil este alcătuit din elemente prefabricate din beton armat, beton precomprimat sau din ţevi metalice, pilotul poartă denumirea de **coloană**.

e. După efectul pe care procedeul de realizare a găurii îl are asupra terenului din jur, se disting:
- piloţi de dislocuire;
- piloţi de îndesare.

Piloţii de dislocuire sunt cei realizaţi prin dislocuirea şi îndepărtarea unui volum de pământ egal cu volumul pilotului, iar tehnologia de executare a lucrărilor de săpătură nu afectează semnificativ starea terenului din jur, fig. 1.3a.

Piloţii de îndesare sunt cei pentru care procedeul de punere în operă (tehnologia de execuţie) conduce la îndesarea (compactarea) pământului din jurul şi de la baza pilotului, fig. 1.3b.

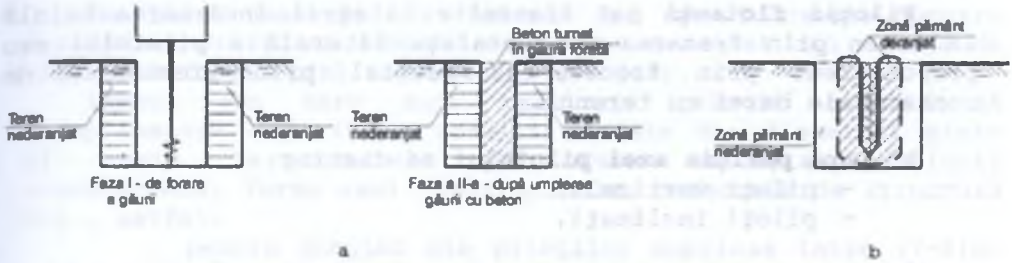


Fig. 1.3. Tipuri de piloţi
a - pilot de dislocuire (faza I + faza a II-a)
b - pilot de îndesare.

f. După direcţia solicitării faţă de axa longitudinală se deosebesc următoarele tipuri de piloţi:

- piloţi solicitaţi la compresiune axială;
- piloţi solicitaţi la smulgere axială;
- piloţi supuşi la solicitări transversale;
- piloţi supuşi simultan la solicitări axiale şi transversale;

g. După modul de transmitere a încărcărilor axiale la teren, putem avea:

- piloţi purtători pe vârf, fig. 1.4a;
- piloţi flotanţi, fig. 1.4b.

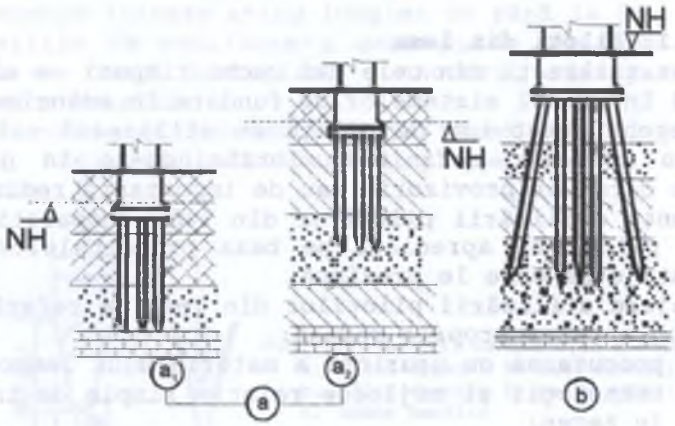


Fig. 1.4. Fundaţii pe piloţi
a - cu radier jos;
b - cu radier înalt;
a_1 - cu piloţi purtători pe vârf;
a_2+b - cu piloţi flotanţi.